

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Электроснабжение»

# **ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ И ИЗЛУЧАЮЩИЕ УСТАНОВКИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

**КУРС ЛЕКЦИЙ  
по одноименной дисциплине  
для студентов специальности 1-43 01 03  
«Электроснабжение»  
дневной формы обучения**

Гомель 2009

УДК 628.9(075.8)  
ББК 31.294я73  
Э45

*Рекомендовано научно-методическим советом  
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 2 от 22.12.2008 г.)*

Составители: *А. Г. Ус, В. Д. Елкин*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Автоматизированный электропривод»  
ГГТУ им. П. О. Сухого *В. В. Тодарев*

Э45 **Электрическое** освещение и излучающие установки в сельском хозяйстве : курс лекций по одноим. дисциплине для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение» днев. формы обучения / сост.: А. Г. Ус, В. Д. Елкин. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2009. – 43 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

Разработан в соответствии с рабочей программой курса «Электрическое освещение и излучающие установки» и включает тринадцать лекций по разделам курса: источники света и излучатели, светильники и прожекторы; светотехнический расчет электрического освещения; электрический расчет электроосвещения; управление электрическим освещением, энергосбережение в электрическом освещении.

Для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение» дневной формы обучения.

**УДК 628.9(075.8)**  
**ББК 31.294я73**

© Ус А. Г., Елкин В. Д., составление, 2009  
© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2009

# 1. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

Излучение (радиация) является одной из форм существования материи в виде электромагнитного поля. Все тела, имеющие температуру выше абсолютного нуля, излучают в окружающее пространство лучистую энергию. Лучистая энергия имеет одновременно электромагнитную и квантовую природу. Переносится эта энергия не в виде непрерывных магнитных волн, а квантами (фотонами).

Основной характеристикой излучения является длина волны

$$\lambda = \frac{c}{\nu}, \quad (1.1)$$

где  $c$  – скорость света (в вакууме 299 792 458 м/с;  
 $\nu$  – частота электромагнитных колебаний, Гц.

По длине волны различают: радиоволны; инфракрасное излучение; видимое излучение; ультрафиолетовое излучение; рентгеновское излучение;  $\gamma$ -излучение.

Область электромагнитных излучений с длиной волны от 1 нм до 1 мм называют оптическим излучением.

Оптическая область спектра делится на ультрафиолетовую, видимую и инфракрасную.

Ультрафиолетовое излучение – оптическое излучение, длины волн примерно от 1 до 380 нм ( $1 \text{ нм} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ мм}$  или  $1 \cdot 10^{-9} \text{ м}$ ).

Инфракрасное излучение имеет длины волн от 760 нм до 1 мм.

Видимое излучение (свет) – излучение, которое, попадая на сетчатую оболочку глаза, может вызвать зрительное ощущение.

Видимое излучение имеет длины волн в пределах 380 – 760 нм (рис. 1.1).

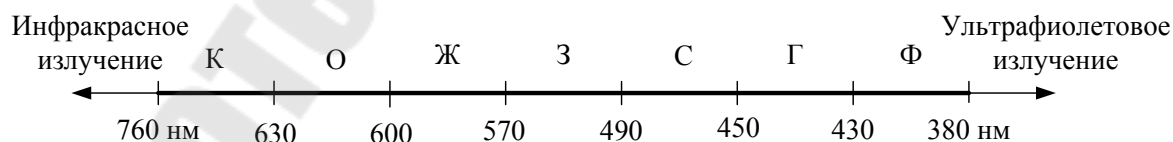


Рис. 1.1. Видимая часть спектра

Видимая часть спектра состоит из следующих цветных полос:

- красный – 760...630 нм;
- оранжевый – 630...600 нм;
- желтый – 600...570 нм;
- зеленый – 570...490 нм;

- синий – 490...450 нм;
- голубой – 450...430 нм;
- фиолетовый – 430...380 нм.

На практике приходится чаще всего иметь дело с телами, излучающими свет сложного спектрального состава, состоящего из волн различной длины. Энергия видимых излучений воздействует на светочувствительные элементы глаза и производит световое ощущение, интенсивность которого зависит от мощности излучения и длины волны. Это объясняется разной чувствительностью глаза к излучениям с различными длинами волн. При одинаковой мощности излучений каждой из длин волн наибольшее световое ощущение возникает при излучении желто-зеленого цвета с длиной волны 555 нм. Синее излучение той же мощности воспринимается примерно в 20, а красное в 50 раз слабее.

Освещение характеризуется количественными и качественными показателями.

К количественным показателям относятся: световой поток, сила света, яркость, освещенность, коэффициент отражения.

К качественным – фон, контраст объекта, видимость, показатель ослепленности, коэффициент пульсации освещенности.

Основной величиной, характеризующей искусственное освещение, является световой поток.

*Световой поток* ( $\Phi$ ) – мощность светового излучения (видимого излучения), которая оценивается по световому ощущению, воспринимаемому глазом человека.

Единица светового потока – люмен (лм) Люмен, равный потоку, излучаемому абсолютно черным телом с площади 0,5305 мм<sup>2</sup> при температуре затвердевания платины (1773°С).

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}. \quad (1.2)$$

*Сила света точечного источника.* Пространственная плотность светового потока называется силой света

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}. \quad (1.3)$$

При равномерном распределении светового потока в пределах телесного угла, имеющего конечные размеры, сила света в направлении оси угла

$$I = \frac{\Phi}{\omega}, \quad (1.4)$$

Единица силы света – кандела (кд).

Кандела равна силе света, испускаемого в перпендикулярном направлении с площади в  $1/600\,000\text{ м}^2$  черного тела при температуре затвердевания платины  $T = 2045\text{ К}$  и давлении  $101\,325\text{ Па}$ .

Тогда световой поток в 1 лм соответствует световому потоку, излучаемому в единичном телесном угле точечным источником с силой света 1 кандела.

**Телесный угол  $\omega$**  – часть пространства, ограниченная конической поверхностью (рис. 1.2). Величина телесного угла определяется как отношение площади сферической поверхности  $S$ , на которую он опирается, к квадрату радиуса сферы  $r$ .

$$\omega = \frac{S}{r^2}. \quad (1.5)$$

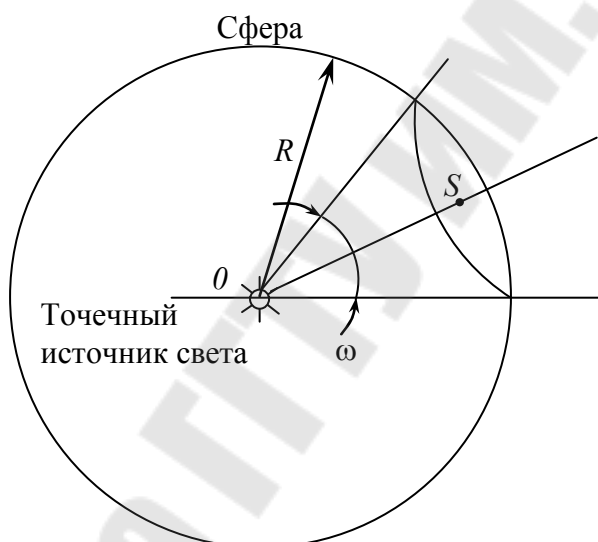


Рис. 1.2. Телесный угол

Единица телесного угла – стерадиан (ср). Величина телесного угла в 1 ср представляет собой телесный угол, который вырезает на поверхности сферы площадь, равную квадрату радиуса данной сферы.

**Освещенность.** Световой поток, падая на любую поверхность, освещает ее. Для количественной оценки плотности светового потока на освещаемой поверхности пользуются понятием освещенности.

Освещенность ( $E$ ) – отношение светового потока к площади, освещаемой им поверхности

$$E = \frac{\Phi}{S}. \quad (1.6)$$

За единицу освещенности принят люкс (лк). Освещенность в 1 лк имеет поверхность в  $1 \text{ м}^2$  на которую падает и равномерно по ней распределяется световой поток в 1 лм.

**Яркость.** Световой поток от источника света, падая на поверхность какого-либо предмета, частично ею отражается. При наблюдении в глаз наблюдателя попадает лишь часть отраженного светового потока от поверхности предмета, вызывающая зрительное восприятие. Чем больше отраженного светового потока от поверхности предмета попадает в глаз наблюдателя, тем сильнее зрительное ощущение этого предмета. Освещенный предмет будет лучше виден тогда, когда его поверхность будет отражать больше светового потока в направлении глаза наблюдателя. Условия видения количественно характеризуются величиной яркости.

Яркость освещаемой поверхности в каком-либо направлении называется отношение силы света, излучаемой поверхностью в данном направлении, к площади проекции освещаемой поверхности на плоскость перпендикулярно тому же направлению (рис. 1.3).

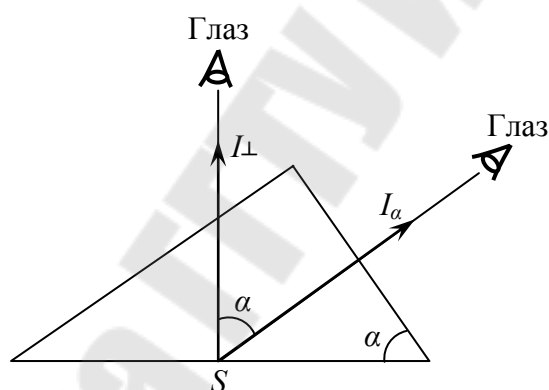


Рис. 1.3. Яркость поверхности

Если лучи от плоскости освещаемой поверхности, направленные к глазу человека, перпендикулярны этой поверхности, то яркость освещаемой поверхности

$$L = \frac{I}{S}, \quad (1.7)$$

где  $L$  – яркость;

$I$  – сила света, перпендикулярная освещаемой поверхности, кд;

$S$  – площадь поверхности,  $\text{м}^2$ .

Понятие яркости применимо не только к освещенным поверхностям, но и к источникам света.

Единицей яркости служит кандела на квадратный метр ( $\text{кд}/\text{м}^2$ ).

Источник света, имеющий форму шара диаметром  $D$  и излучающий равномерно во все стороны силу света, обладает яркостью

$$L = \frac{I}{S_{\text{шара}}}, \quad (1.8)$$

*Световые свойства тел.* Световой поток  $\Phi$ , падая на какое-либо тело в общем случае частично отражается от его поверхности, частично преломляется (проходит через тело), частично им поглощается. По закону сохранения энергии

$$\Phi = \Phi_{\rho} + \Phi_{\alpha} + \Phi_{\tau}, \quad (1.9)$$

где  $\Phi_{\rho}$  – отраженная часть светового потока;

$\Phi_{\alpha}$  – поглощенная часть светового потока;

$\Phi_{\tau}$  – световой поток, пропущенные через тело.

Отношение каждого из составляющих светового потока к световому потоку, падающему на поверхность, называют коэффициентом отражения  $\rho$ , поглощения  $\alpha$ , и пропускания  $\tau$ :

$$\rho = \Phi_{\rho}/\Phi; \quad \alpha = \Phi_{\alpha}/\Phi; \quad \tau = \Phi_{\tau}/\Phi.$$

Очевидно, что

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

Различают три вида отражения и пропускания света телами:

- направленное;
- рассеянное (диффузное);
- направленно-рассеянное (рис. 1.4).

Тела с гладкой блестящей поверхностью обладают направленным или зеркальным отражением – зеркало, полированная поверхность.

Тела прозрачные обладают направленным пропусканием – стекло.

Тела, которые отражают или пропускают свет, рассеивая его настолько, что их яркость становится одинаковой по всем направлениям пространства, обладают соответственно диффузным отражением – мел, гипс, известь или диффузным пропусканием – матовое стекло.

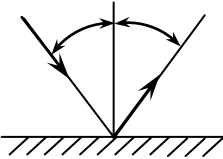
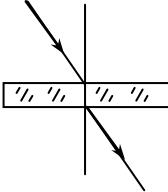
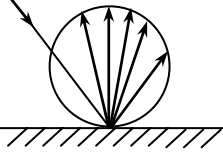
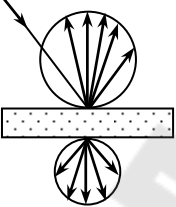
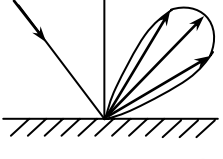
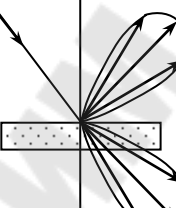
	Отражение	Пропускание
Направленное		
Рассеянное		
Направленно-рассеянное		

Рис. 1.4. Разновидности отражения и пропускания светового потока

**Фон** – поверхность, прилегаемая к объекту различия, на которой он рассматривается.

Фон характеризуется коэффициентом отражения, зависящем от цвета и фактуры поверхности, значения которого находятся в пределах 0,02...0,95. Фон считается светлым при коэффициенте отражения поверхности более 0,4; средним – от 0,2 до 0,4; темным – менее 0,2.

Контраст объекта – отношение абсолютной величины разности между яркостью объекта и фона к яркости фона:

$$K = \frac{L_o - L_\phi}{L_\phi}, \quad (1.11)$$

где  $L_o$  и  $L_\phi$  – яркость соответственно объекта и фона.

Контраст объекта считается большим при  $K$  более 0,5 (объект и фон резко отличаются по яркости), средним при  $K$  от 0,2 до 0,5 (объект и фон заметно отличаются по яркости), малым – при  $K$  менее 0,2 (объект и фон мало отличаются по яркости).



В зависимости от сочетания характеристик фона и контраста объекта с фоном разряды зрительной работы разделяются на подряды.

*Видимость* – универсальная характеристика качества освещения, которая характеризует способность глаза воспринимать объект. Зависит от освещенности, размера объекта, его яркости, контраста объекта с фоном, длительности экспозиции.

Видимость  $V$  определяется числом пороговых контрастов в контрасте объекта с фоном:

$$V = \frac{K}{K_{\text{пор}}}, \quad (1.10)$$

где  $K$  – контраст объекта с фоном;

$K_{\text{пор}}$  – пороговый контраст, наименьший различимый глазом контраст, при небольшом уменьшении которого объект становится неразличимым.

*Показатель ослепленности* – критерий оценки слепящего действия осветительной установки определяемый выражением:

$$P = (S - 1) 1000, \quad (1.12)$$

где  $S$  – коэффициент ослепленности, равный отношению видимости объекта соответственно при экранировании и при наличии блестящих источников в поле зрения.

*Коэффициент пульсации освещенности* – критерий оценки относительной глубины колебаний освещенности в результате изменения во времени светового потока газоразрядных ламп при питании их переменным током, определяемый по формуле:

$$K_{\text{п}} = \frac{E_{\text{max}} - E_{\text{min}}}{2E_{\text{cp}}} \cdot 100\%, \quad (1.13)$$

где  $E_{\text{max}}$  и  $E_{\text{min}}$  – соответственно максимальное и минимальное значения освещенности за период ее колебания, лк;

$E_{\text{cp}}$  – среднее значение освещенности за этот же период, лк.

## 2. ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Из всего разнообразия источников света в настоящем учебном пособии рассматриваются источники света, которые применяются для освещения производственных, административно-бытовых, общественных, жилых и других помещений, а также для освещения территорий предприятий и уличного освещения.

### **Классификация источников света**

По принципу преобразования электрической энергии в энергию видимых излучений современные источники света подразделяются на две основные группы: тепловые и разрядные.



Рис. 2.1. Классификация источников света

Тепловым называют оптическое излучение, возникающее при нагревании тел. К тепловым источникам света относят лампы накаливания. В зависимости от того, какой газ применяется для заполнения колбы лампы при изготовлении они подразделяются на вакуумные, газополные, галогеновые, ксеноновые.

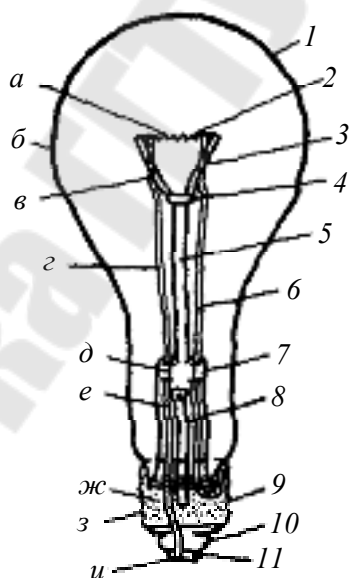
Разрядной лампой называют лампу, в которой оптическое излучение возникает в результате электрического разряда в газах, парах или их смесях.

Разрядные лампы подразделяются на разрядные лампы высокого давления (РЛВД) – ДРЛ, металлогалогенные (МГЛ) – ДРИ, разрядные лампы низкого давления (РЛНД) – ЛЛ, натриевые лампы низкого давления (НЛНД) – ДНаО, натриевые лампы высокого давления (НЛВД) – ДНаТ.

### *Лампы накаливания*

Лампы накаливания являются типичными теплоизлучателями. Важнейшие свойства лампы накаливания – световая отдача и срок службы – определяются температурой спирали. При повышении температуры спирали возрастает яркость, но вместе с тем и сокращается срок службы. Сокращение срока службы является следствием того, что испарение материала (вольфрама), из которого сделана нить, при высоких температурах происходит быстрее, вследствие чего колба темнеет, а нить накала становится все тоньше и тоньше и в определенный момент расплавляется, после чего лампа выходит из строя. Светоотдача ламп накаливания составляет примерно от 9 до 19 лм/Вт. Далеко от идеальной светоотдачи (683 лм/Вт).

Спектр излучения сплошной, что обеспечивает идеальную цветопередачу. Зажигание происходит моментально.



*Рис. 2.2.* Конструкция лампы накаливания общего назначения:

- 1 – колба; 2 – спираль; 3 – кручки (держатели); 4 – линза;  
 5 – штабик; 6 – электроды; 7 – лопатки; 8 – штангель; 9 – цоколь;  
 10 – изолятор; 11 – нижний контакт. Материалы: а – вольфрам;  
 б – стекло; в – молибден; г – никель; д – медь; ж – цокольная мас-  
 тика; з – латунь, сталь; и – свинец, олово

Тело накала изготавливается из вольфрамовой проволоки. Вольфрам имеет большую температуру плавления около  $3400^{\circ}\text{C}$  ( $3600\text{ K}$ ), формоустойчив при высокой рабочей температуре, устойчив к механическим нагрузкам, обладает высокой пластичностью в горячем состоянии, что позволяет получить из него нити весьма малых диаметров путем протяжки проволоки через калиброванное отверстие. Нить накала накаляется до температуры  $2500\dots 2800^{\circ}\text{C}$ .

В зависимости от типа ламп вводы могут быть одно-, двух- и трехзвенными. Вводы и держатели являются частью, так называемой ножки. Это стеклянный конструктивный узел лампы, который кроме вводов и держателей включает в себя стеклянный штабик 5 с линзой 4. Ножка служит опорой для тела накала лампы и в месте с колбой 1 обеспечивает герметизацию лампы.

Для обеспечения нормальной работы раскаленной вольфрамовой нити накала необходимо изолировать ее от кислорода воздуха. Для этого в колбе создается вакуум (такие лампы называются вакуумные) или заполняется инертным газом (аргон, криптон, ксенон с разным содержанием азота или галогенные с добавкой к наполняющему газу определенной доли галогенов, например йода) – газополные лампы.

### ***Галогенные лампы***

По структуре и принципу действия сравнимы с лампами накаливания, но они содержат в газе-наполнителе незначительные добавки галогенов (бром, хлор, фтор, йод) или их соединения. С помощью этих добавок возможно в определенном температурном интервале практически полностью устранить потемнение колбы (вызванное испарением атомов вольфрама нити накала). Поэтому размер колбы в галогенных лампах накаливания может быть сильно уменьшен.

Конструктивно не отличаются от ламп накаливания, но обладают более высоким сроком службы. Между сроком службы и световой отдачей существует прямая зависимость – чем больше светоотдача – тем меньше срок службы. Срок службы увеличен в галогенных лампах за счет иодно-вольфрамового цикла, возвращающего испарившийся вольфрам обратно на спираль.

Принцип действия галогенных ламп заключается в образовании на стенке колбы летучих соединений – галогенидов вольфрама, которые испаряются со стенки, разлагаются на теле накала и возвращают ему, таким образом, испарившиеся атомы вольфрама. В результате увеличивается срок службы ламп. Галогенные лампы по сравнению с

обычными лампами накаливания имеют более стабильный световой поток, значительно меньшие размеры, более высокую термостойкость и механическую прочность благодаря применению кварцевой колбы.

В качестве галогенных добавок применяется йод, бром, хлор, фтор. Работа по подбору новых летучих химических соединений галогенов продолжается.

Технические данные рефлекторных галогенных ламп приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

### Технические данные рефлекторных галогенных ламп

Тип	Мощность, Вт	Напряжение, В	Сила света, кд
КГР	20	12	460
КГР	35	12	730
КГР	50	12	1000
КГР	75	12	2200

### Маркировка ламп накаливания

Маркируются лампы накаливания следующим образом:

Первый элемент – от одной до четырех букв – характеризует лампу по физическим и конструктивным особенностям: В – вакуумная; Г – газополная аргоновая моноспиральная; Б – аргоновая биспиральная; БК – биспиральная криптоновая; МТ – в матированной колбе; МЛ – в колбе молочного цвета; О – в опаловой колбе.

Второй элемент – буквенное выражение из одной-двух букв – определяет назначение ламп: А – автомобильная; Ж – железнодорожная; КМ – коммутаторная; ПЖ – прожекторная; СМ – самолетная.

Третий элемент – цифровое выражение – определяет номинальное напряжение в вольтах, через дефис – номинальная мощность в ваттах (для двухспиральных ламп после номинального напряжения указываются сила света, кд).

Четвертый элемент – порядковый номер доработки (для ламп, разработанных впервые, четвертый элемент отсутствует).

Пример маркировки ламп: БКМТ215-225-100-2 – лампа накаливания биспиральная криптоновая, в матированной колбе, напряжение 215-225 В, мощность 100 Вт, вторая доработка;

А12-21+6 – лампа накаливания автомобильная, напряжение 12 В, двухспиральная, сила света 21 и 6 кд.

### Маркировка галогенных ламп:

первая буква – материал колбы (К – кварцевая);

вторая буква – вид галогенной добавки (Г – галоген иод);

третья буква – область применения (О – облучательная) или конструктивная особенность (М – малогабаритная);

первая группа цифр – номинальное напряжение, В;

вторая группа цифр через дефис – номинальная мощность, Вт.

Пример маркировки галогенных ламп: КГМ12-40 – в кварцевой колбе, галогенная, малогабаритная, номинальное напряжение 12 В, номинальная мощность 40 Вт.

### ***Достоинства и недостатки ламп накаливания***

Достоинства:

– непосредственное включение в сеть, т.е. для своей работы не требует дополнительных аппаратов;

– невысокая стоимость;

– удобство в эксплуатации;

– относительно небольшие первоначальные затраты на осветительную установку;

– большой выбор по конструктивным особенностям;

– широкая номенклатура по номинальному напряжению и мощности ламп;

– стабильность светового потока за срок службы.

Недостатки:

– малый срок службы (для ламп общего назначения средний срок службы составляет 1000 ч);

– низкая световая отдача (20 лм/Вт);

– неэкономичные (более 90% электроэнергии затрачивается на нагрев тела накала и выделяется в виде тепла).

Основными характеристиками ламп являются номинальные значения напряжения, мощности, светового потока (иногда – силы света), срок службы, а также габаритные размеры (полная длина  $L$ , диаметр  $D$ , высота светового центра  $H$  от центрального контакта резьбового цоколя или штифтов штифтового цоколя до центра нити).

### ***Принцип действия ламп накаливания***

Принцип действия осветительных ламп накаливания основан на испускании излучения соответствующих длин волн за счет, в первом случае, электронного возбуждения молекул и атомов, во-втором – теплового колебания ядер молекул тела накала. При повышении температуры тела накала увеличивается энергия поступающего, колебательного и вращательного движения его частиц, вследствие чего растет поток излучения и средняя энергия фотона. Длины волн излучения смещаются в коротковолновую инфракрасную и далее – в длин-

новолновую видимую область. Дальнейшее увеличение температуры тела накала обеспечивает энергию, достаточную для электронного возбуждения молекул и атомов и получения более коротковолнового видимого излучения.

Таким образом, основным фактором, определяющим плотность и длину волны излучения тепловых источников, является температура.

Согласно закону Стефана-Больцмана, плотность излучения тела накала связана с температурой выражением:

$$M = \varepsilon \cdot \sigma_0 \cdot T, \quad (2.1)$$

где  $M$  – энергетическая плотность излучения, Вт м<sup>2</sup>;  
 $\varepsilon$  – коэффициент теплового излучения тела накала, его среднее интегральное значение (для вольфрама при 2600...3000 К  $\varepsilon = 0,334$ );

$\sigma_0$  – постоянная Стефана-Больцмана ( $\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт · м<sup>-2</sup>К<sup>-4</sup>);

$T$  – температура тела накала, К.

Длина волны  $\lambda_{\max}$ , при которой спектральная плотность излучения максимальна, также зависит от температуры (закон Вина)

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2896 \text{ мкм}^2 \cdot \text{К}, \quad (2.2)$$

Если спираль лампы рассматривать как абсолютно черное тело, то зависимость плотности излучения от температуры и длины волны можно описать законом излучения Планка

$$Me\lambda + C^1\lambda^{-5} (\exp C^{11}/\lambda T - 1)^{-1}, \quad (2.3)$$

где  $C^1 = 3,742 \cdot 10^{-16}$  Вт · м<sup>2</sup>;  $C^{11} = 1,439 \cdot 10^{-2}$  м · К – постоянные;

$Me\lambda$  – спектральная плотность излучения, Вт · м<sup>-2</sup>.

### ***Характеристики ламп накаливания***

Основными характеристиками осветительных ламп накаливания являются электрические, светотехнические, и эксплуатационные.

Электрические: номинальная мощность, напряжение.

Светотехнические: световой поток, спектральный состав излучения.

Эксплуатационные: световая отдача, срок службы, геометрические размеры.

Мощность ламп зависит от напряжения и геометрических размеров вольфрамовой спирали

$$P = U^2/R_T = U^2 \cdot S_c/\rho_T \cdot l, \quad (2.4)$$

где  $R_T$  – сопротивление спирали при рабочей температуре, Ом;  
 $\rho_T$  – удельное сопротивление вольфрама при рабочей температуре;  
 $S_c$  – площадь сечения вольфрамовой проволоки, мм<sup>2</sup>;  
 $l$  – длина вольфрамовой проволоки, м.

Световой поток лампы при заданной мощности зависит только от температуры тела накала. Это следует из закона Стефана-Больцмана, согласно которому

$$\Phi = M \cdot S_c = \varepsilon \cdot \sigma_0 \cdot T \cdot S \cdot C, \quad (2.5)$$

где  $\Phi$  – световой поток тела накала лампы, лм;  
 $S$  – площадь излучающей поверхности тела накала, м<sup>2</sup>,  
 $C$  – коэффициент перехода от энергетического к световому потоку, лм Вт<sup>-1</sup>.

Из выражения 2.5 следует, что при одной и той же электрической мощности вакуумные лампы создают меньший световой поток, чем газонаполненные, спиральные – меньше чем биспиральные, так как температура накала у них различная.

Спектр излучения ламп накаливания сплошной, лежит в красно-желтой области (360...780 нм). Максимум излучения приходится на инфракрасные длины волн.

Световая отдача показывает, какой световой поток испускает лампа на единицу мощности, потребляемой из электрической сети (лм·Вт<sup>-1</sup>). В идеальном случае световая отдача зависит только от температуры тела накала. Например, при увеличении температуры вольфрама от 2400 до 3200 К его световая отдача возрастает с 9,4 до 34,7 лм·Вт<sup>-1</sup>. В реальных условиях световая отдача ламп накаливания зависит от геометрических размеров и конструкции тела накала.

Для заданного типа ламп световая отдача определяется выражением

$$\eta = \Phi_{л} / P_{л}. \quad (2.6)$$

Световая отдача характеризует экономичность источника света. Для ламп накаливания световая отдача равна 7...20 лм·Вт<sup>-1</sup>. Увеличение световой отдачи за счет роста температуры ограничено резким снижением срока службы тела накала.

Срок службы ламп зависит от стойкости тела накала.

Основным фактором, влияющим на характеристики ламп накаливания при их эксплуатации, является напряжение. Отклонение пи-



тающего напряжения от номинального значения существенно влияет на характеристики ламп накаливания.

Изменение светового потока  $\Phi$ , электрической мощности  $P$ , световой отдачи  $\eta$ , тока  $I$  и средней продолжительности горения  $t_c$  при отклонениях питающего напряжения могут быть приближенно определены из уравнений:

$$\begin{aligned} \Phi/\Phi_{\text{ном}} &= (U/U_{\text{ном}})^{3,67}; \quad P/P_{\text{ном}} = (U/U_{\text{ном}})^{1,6}; \\ I/I_{\text{ном}} &= (U/U_{\text{ном}})^{0,6}; \quad \eta/\eta_{\text{ном}} = (U/U_{\text{ном}})^{2,14}; \\ t_{\text{сн}}/t_c &= (U/U_{\text{ном}})^{14,8}. \end{aligned} \quad (2.7)$$

Как видно из уравнений 2.7, с ростом напряжения на лампе резко увеличивается сила тока, мощность, световой поток и световая отдача, но уменьшается средний срок службы. При небольших отклонениях напряжения в сети (до 7,5 %) можно приближенно считать, что отклонение напряжения  $\pm 1$  % изменяет световой поток лампы на 2,7 %, а среднюю продолжительность горения на  $\pm 14$  %.

### *Инфракрасные излучатели*

В светотехнике помимо видимого излучения используется также и инфракрасное и ультрафиолетовое излучение. Невидимые инфракрасные лучи являются тепловыми и участвуют в переносе теплоты от одного тела к другому. Они появляются при нагреве какого-либо тела (например, куска металла) до температуры не выше 800 К. На шкале электромагнитных волн они занимают достаточно широкий диапазон между красным концом видимого спектра излучения света и коротковолновым радиоизлучением. Инфракрасное излучение находит широкое применение в дефектоскопии, в приборах ночного видения и ночного фотографирования, в средствах скрытой сигнализации и т. д.

Инфракрасные лучи представляют собой электромагнитные колебания с длиной волны  $10^{-4}$ – $10^{-2}$  см. Они непосредственно примыкают к красному участку видимой части спектра, но не видимы глазом человека. Инфракрасные лучи практически не рассеиваются в пространстве и, проникая в глубь тел, производят их нагрев. Глубина проникновения зависит от свойств нагреваемого материала, его структуры, характера поверхности и может составлять от десятых долей до нескольких миллиметров.

Для каждого вещества имеется определенная длина волн инфракрасного излучения, при которой происходит наиболее эффективный

его нагрев. Воздух для инфракрасных лучей практически прозрачен, поэтому передача теплоты от источника инфракрасного излучения к нагреваемому объекту происходит без заметных потерь.

Простейшими источниками инфракрасного излучения являются лампы накаливания, работающие при пониженном напряжении, когда они излучают преимущественно невидимое инфракрасные лучи и незначительную долю составляют видимые световые лучи.

Промышленностью выпускаются излучатели различных типов. Главными признаками, определяющими область наиболее эффективного использования излучателя каждого типа, является рабочая температура, длина волны максимального излучения и зона равномерной плотности излучения.

Основными источниками инфракрасных лучей являются ламповые излучатели с зеркальными отражателями (длина волны максимального излучения 1,05 мкм), кварцевые трубчатые (2...3 мкм), неметаллические стержневые нагреватели с рефлектором (6...8 мкм) и трубчатые электронагреватели (ТЭН).

В сельскохозяйственном производстве для сушки сельскохозяйственной продукции, обогрева молодняка животных и птиц удобно применять источники инфракрасного (ИК) излучения. Специфической особенностью ИК излучения является его тепловое действие и хорошая проникающая способность.

Инфракрасные излучатели можно получить от инфракрасных ламп это «световые» излучатели или лампы термоизлучатели и трубчатых электрических нагревателей или спиралей из материалов и сплавов имеющих высокое удельное сопротивление – «темные» излучатели.

«Светлые» источники имеют конструкцию ламп накаливания, однако их тело накала рассчитано на меньшую, чем в осветительных лампах накаливания температуру в пределах 2270...2770 К для увеличения доли инфракрасного излучения и сокращения доли видимого излучения. Максимум спектральной плотности излучения таких ламп смещен в длинно-волновую часть спектра и приходится на излучение с длиной волны 1000...1400 нм.

Электротехническая промышленность выпускает специальные инфракрасные излучатели в виде ламп накаливания типа ИКЗ 220 мощность 250, 500 Вт – инфракрасный излучатель с зеркальным отражателем, а также ИКЗС и ИКЗК со светлой или красной колбой.

Пониженная температура тела накала инфракрасных ламп способствует увеличению их срока службы до 5000 ч.

Инфракрасные излучатели (лампы) типа КГ 220-1000, которые представляют собой цилиндрическую трубку диаметром около 10 мм и длиной 370 мм. Тело накала лампы выполнено в виде вольфрамовой спирали, смонтированной по оси трубки на вольфрамовых supports. Ввод в лампу выполнен посредством молибденовых электродов, впаянных в кварцевые ножки. Концы спирали тела накала накручены на внутреннюю часть вводов. Цоколи выполнены из никелевой ленты со швом, в который введены наружные молибденовые выводы. Трубка изготавливается из кварцевого стекла и наполняется аргоном с содержанием йода. Добавление внутрь колбы йода позволяет уменьшить распыление вольфрама и тем самым увеличить срок службы ламп до 3000 ч.

«Темные» источники инфракрасного излучения конструктивно состоят из металлической трубки, внутри которой помещается спиральный нагреватель из нихромовой проволоки и заполняется огнестойкой изоляционной массой. Спектр излучения «темных» излучателей находится в диапазоне длин волн 1400...10000 нм с максимумом спектральной плотности излучения при 4000 нм.

Для применения теплоэлектронагревателей (ТЭН) в качестве инфракрасного обогрева они производятся с различной единичной мощностью от 400 до 1500 Вт и более на напряжение 220 В. Срок службы ТЭНов до 10000 ч.

Для защиты источника инфракрасного излучения от механических повреждений, а также от загрязнения, влаги ИК заключаются в специальные кожухи, применяются различные защитные сетки. Для перераспределения потока излучения в пространстве применяют отражатели. Источник ИК совместно с арматурой называется облучатель.

Технические данные некоторых типов облучателей приведены в таблице 2.2.

## Технические данные облучателей

Тип облучателя	Тип ИК излучателя	Мощность, Вт	Масса, кг
ОРИ-	ИКЗ 220-500	500	2,0
ОРИ-2	ПС-701Е-375	375	1,5
ОВИ-1	ИКЗК 220-500-1	500	1,5
ССП01-250	ИКЗ 220-250	250	2,4
«ЛАТВИКО»	КГ 220-1000	1000	2,5
ИКУФ-1	ИКЗК 220-250, ЛЭ-15	520	5,1
ИКУФ-1М	ИКЗК 220-250, ЛЭ-15	520	6,5
«ЛУЧ»	ИКЗК 220-250, ЛЭ-15	520	5,9
ОКВ-1376А	ТЭН	1200	

**Применение инфракрасных излучателей для обогрева**

При применении инфракрасное излучение облучателя для обогрева животных и птицы в сельскохозяйственных помещениях теплооблучатели размещают над животными, в результате облучаемое тело ощущает температуру более высокую, чем температура окружающего воздуха.

Температура, которую ощущает тело в результате действия на него ИК излучения и теплоты окружающего воздуха, называется ощущаемой температурой

$$t_o = t_{\text{л}} + t_{\text{в}}, \quad (2.8)$$

где  $t_o$  – ощущаемая температура, °С;

$t_{\text{л}}$  – лучистая температура ИК, °С;

$t_{\text{в}}$  – температура окружающего воздуха.

Лучистая температура определяется по выражению

$$t_{\text{л}} = 0,04 \cdot E \cdot K, \quad (2.9)$$

где 0,04 – коэффициент, связывающий ИК облучатель с лучистой температурой,  $(^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2)^{-1}$ , Вт;

$K$  – коэффициент «восприятия» ИК излучения организмом животного;

$E$  – облученность поверхности тела.

При неподвижном воздухе в помещении величина  $K = 1$ , с увеличением скорости воздуха и загрязнения кожно-перьевого покрова восприятие организмом ИК излучения снижается.

Ощущаемая температура обеспечивается за счет рационального выбора параметров облучателей.

Основные параметры, по которым выбирают облучатели, являются тип, и мощность, число и взаимное расположение источников излучения в облучателе, напряжение на источнике, высота подвеса облучателя, способ регулирования облученности.

Энергетические данные «светлых» излучателей эффективнее «темных». Энергетический КПД «светлых» излучателей выше в 1,7 раза, чем «темных».

Мощность и количество источников излучения зависит от требуемой облученности и площади облучения. Если тип облучателя и, следовательно, его мощность известна, то облученность можно обеспечить, изменяя высоту подвеса облучателя  $h$  или изменением напряжения питания.

Высота подвеса облучателя определяется исходя из зависимости  $E(h)$  для принятого облучателя. Требуемую облученность  $E$  определяют по заданной величине  $t_o$  и фактической температуре в помещении  $t_b$

$$E = (t_o - t_b) / 0,04 \text{ К.} \quad (2.10)$$

По облученности  $E$  и зависимости  $E(t)$  определяют требуемую высоту подвеса облучателя.

При изменении температуры в помещении изменяется и ощущаемая температура облучателя. Поэтому в процессе обогрева для поддержания заданной величины  $t_o$  приходится изменять величину облученности.

Облученность регулируют изменением высоты подвеса или напряжением питания. При изменении высоты подвеса облучателя остаются ИК источники остаются под номинальным напряжением. Этот способ регулирования связан с значительными затратами ручного труда и нерациональным использованием электрической энергии.

Регулирование облученности изменением подводимого напряжения на ИК источники имеет значительные преимущества, так как появляется возможность автоматизации процесса, увеличение срока службы ламп при работе на пониженном напряжении, а, следовательно, и сокращение потребления электроэнергии.

Пределы регулирования величины напряжения в зависимости от температуры в помещении определяют из выражения для ощущаемой температуры (2.8). Поддерживать постоянную ощущаемую температуру ( $t_o$ ) при изменении температуры окружающего воздуха в помещении ( $t_b$ ) можно изменяя  $t_{дл} = 0,04 \cdot E \cdot K$ . Уменьшая или увеличивая

отклонение ( $t_B$ ), определяют требуемые значения  $t_{\text{д}}$  и  $E$ . Зависимость  $E(U)$  определяют экспериментально и определяют зависимость изменения напряжения от температуры в помещении ( $t_B$ ).

### ***Ультрафиолетовые излучатели***

Ультрафиолетовые лучи это электромагнитные колебания частотой от  $10^{15}$  до  $10^{17}$  Гц. Примыкают к фиолетовому участку видимой части спектра и вызывают: сильную ионизацию воздуха, интенсивные фотоэлектрические и химические явления, обладают бактерицидными и разнообразными биологическими действиями.

Источниками ультрафиолетового излучения являются ртутно-кварцевые и газоразрядные лампы.

Газоразрядные бактерицидные лампы выпускаются на номинальную мощность 15, 30, 60 Вт, на номинальное напряжение 220 В и частоту 50 Гц. Колбы (трубки) этих ламп изготавливаются из увиолевого стекла, которое хорошо пропускает ультрафиолетовые лучи. Бактерицидные лампы по своему устройству, принципу действия и схемам включения не отличаются от люминесцентных ламп низкого давления, за исключением того, что на стенках трубки отсутствует покрытие люминофором.

Для повышения бактерицидного действия они снабжаются алюминиевыми облучателями с полированной отражающей поверхностью, что обеспечивает пространственное распределение ультрафиолетового излучения в верхнюю и нижнюю полусферу.

Лампы ультрафиолетового излучения используются для стерилизации, стимулирования и угнетения биологических процессов и химических реакций, для дезинфекции помещений, воздуха, воды, рабочих столов, посуды, инструментов, одежды и т.д.

Наиболее эффективны для этих целей ультрафиолетовые лучи коротковолнового диапазона (длина волны от 0,20 до 0,28 мкм) (от 200 до 280 нм), которые излучают газоразрядные бактерицидные лампы. При этом доза облучения оказывает существенное влияние на биологический процесс. Так, малые дозы облучения стимулируют развитие плесневых грибков. Более продолжительное облучение продуктов, фруктов и овощей и овощей снижает поражение их плесенью. Периодическое облучение мяса позволяет хранить его в незамороженном виде при обычной температуре, и оно остается сочным и свежим.

Ультрафиолетовые лучи коротковолнового диапазона применяются для дезинсекции складских помещений, для уничтожения амбарных вредителей и др. Эффективность обеззараживания воздуха от бактерий и плесени достигает до 99 %.

Ультрафиолетовое излучение с длиной волны от 0,28 до 0,32 мкм (от 280 до 320 нм) широко используется в медицине и ветеринарии. Оно вызывает загар кожных покровов, способствует образованию витамина *D* в организме человека и животных, а также его сохранению в таких пищевых продуктах, как молоко, дрожжи, мука и др.

Ультрафиолетовые лучи длинноволнового диапазона (от 0,32 до 0,40 мкм) применяются для возбуждения светящихся и флюоресцирующих веществ в сигнальных устройствах, например в робототехнике и в установках люминесцентного анализа.

Застекленная поверхность задерживает часть солнечного света. При одинарном застеклении окон коэффициент пропускания ультрафиолетовых лучей с длиной волны 10...380 нм – составляет 10...15 %, а при двойном застеклении до 25 %.

Для повышения пропускания ультрафиолетовых лучей в помещениях применяют увиолевые стекла.

Следует отметить, что при работе с ультрафиолетовыми излучателями необходимо соблюдать меры предосторожности от возможных ожогов кожных покровов и предохранять глаза защитными очками с темными стеклами и прилегающей плотной манжеткой.

### ***Полупроводниковые источники света***

Решение проблемы снижения мощности, электропотребления и эксплуатационных затрат осветительных установок позволит в скором будущем решить средствами, которые ранее не воспринимались всерьез – это светоизлучающие диоды (СИД).

### ***Светоизлучающие диоды (СТД) LED***

Было замечено, что диоды, при применении в них некоторых легирующих материалов изменяют их характеристики, они излучают свет. Со временем эти диоды стали применять как индикаторы. По мере повышения уровня полупроводниковых технологий стало возможным производить все более яркие светодиоды и разнообразить их цвета.

Спектр светодиодов (кроме белого) линейчатый приближающийся к монохроматическому, поэтому долго не существовало белых

светодиодов, так как белый свет представляет собой смешение цветов.

Получить белое свечение светодиодов возможно двумя способами:

первый, наиболее распространенный, вариант предполагает использование ультрафиолетового светодиода с нанесением на линзу люминофора;

второй – использование так называемой светодиодной сборки из трех светодиодов – зеленого, красного и синего. Светодиоды, полученные таким способом, называют «полноцветными».

Уже выпускаются указательные светильники в качестве информационных и ориентационных указателей на светодиодных излучателях мощностью 1,5 Вт и рассчитаны на напряжение переменного тока 220 В.

В таблице 2.4 представлена сводная таблица характеристик источников света.

*Таблица 2.4*

**Сводная таблица характеристик наиболее используемых источников света**

Тип	Световая отдача, лм/Вт	Срок службы, ч	Диапазон мощностей, Вт
ЛОН/ГЛН	9...19	1000/2000	10/1000
ЛЛ	60...95	12000...15000	18, 36, 58
КЛЛ	30...75	до 12000	3...105
ДРЛ	40...60	6000...10000	50...2000
ДРИ	90...100	6000...8000	50...3000
ДНаТ	70...130	6000...20000	50...1000
СИД	270	100000*	0,1...10

\* Срок службы установлен инженерными расчетами. Проверить срок службы на практике еще не представляется возможным. Для этого потребуется десятилетняя эксплуатация.

Светоотдача ламп накаливания составляет примерно от 9 до 19 лм/Вт, что далеко от идеальной светоотдачи, которая составляет (683 лм/Вт).

Лидеры по световому потоку являются натриевые лампы, но в скором будущем первенство могут получить светоизлучающие сверхяркие светодиоды.



### 3. ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Разрядной лампой называют лампу, в которой оптическое излучение возникает в результате электрического разряда в газах, парах или их смесях.

Принцип действия разрядных ламп основан на электрическом разряде между двумя электродами, запаянными в прозрачную колбу. Форма колбы может быть различной формы: трубчатые, капиллярные, шаровые.

Классифицируются разрядные лампы по ряду признаков: по физическим, конструктивным, эксплуатационным, а также области применения.

Классификация по физическим признакам определяют свойства разрядных ламп, такие как спектр и цветность излучения, яркость, энергетический КПД.

Для разрядных ламп определяющим фактором являются состав газовой среды, давление компонентов газовой среды и ток. По составу газов или паров, в которых происходит разряд, они делятся на лампы с разрядом в газах; в парах металлов; в парах металлов и их соединений. По рабочему давлению разрядные лампы делятся на: лампы низкого давления – примерно от 0,1 до  $10^4$  Па; высокого давления – от  $3 \cdot 10^4$  до  $10^6$  Па и сверхвысокого давления – больше  $10^6$  Па. По виду разряда – на лампы: дугового, тлеющего и импульсного разряда.

Область применения разрядных ламп определяется тем, что они имеют самую высокую световую отдачу и большой срок службы по сравнению с лампами накаливания.

*Люминесцентные лампы (флуоресцентные)* – это газоразрядные лампы низкого давления.

Люминесцентные лампы представляют собой разрядные источники света низкого давления, в которых ультрафиолетовое излучение ртутного разряда преобразуется люминофором в длинноволновое видимое излучение. Люминофорами называются твердые или жидкие вещества, способные излучать свет под действием различного рода возбуждения.

По характеру разряда в люминесцентных лампах классифицируются на люминесцентные лампы дугового разряда с горячими катодами, лампы тлеющего разряда с холодными катодами и лампы вихревого разряда без электродов.

Люминесцентные лампы дугового разряда можно подразделить на осветительные люминесцентные лампы общего и специального назначения. Люминесцентные лампы общего назначения предназначены для освещения в различных областях применения.

Люминесцентная лампа низкого давления представляет собой цилиндрическую стеклянную колбу 2 (рис. 3.1), на концах которой в цоколях 1 смонтированы вольфрамовые спиральные электроды 6. На внутреннюю поверхность по всей ее длине нанесен тонкий слой твердого кристаллического порошкообразного вещества – люминофора 4. Люминофором является галофосфат кальция, дозированный марганцем и сурьмой. Изменяя пропорцию состава люминофора можно получить люминесцентные лампы с различной цветностью излучения светового потока.

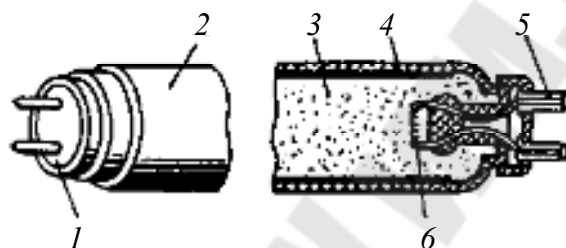


Рис. 3.1. Внешний вид и разрез люминесцентной лампы:  
1 – цоколь; 2 – колба; 3 – ртутные пары; 4 – слой люминофора;  
5 – контактные штырьки цоколя; 6 – спиральный электрод

После откачки воздуха при изготовлении лампы внутрь колбы вводится капля ртути (20...30 мг), которая испаряется при работе лампы. Также вводится небольшое количество чистого газа – аргона, для уменьшения процесса испарения вольфрамовых электродов и ускорения зажигания лампы.

Длина и диаметр стеклянной трубки определяются мощностью лампы и напряжением, на которое она рассчитана и выпускаются с диаметром 40, 26 и 16 мм.

По форме различаются линейные, U-образные, кольцевые, а также компактные. Светоотдача люминесцентных ламп составляет примерно 40, 50, 60, 80 лм/Вт и более. Выпускаются люминесцентные лампы мощностью 20, 30, 40, 80 Вт с колбой диаметром 40 мм и улучшенной конструкции 18, 36, 58 Вт с колбой диаметром 26 мм.

Маркировка люминесцентных ламп состоит из букв, обозначающих конструктивные признаки и цифр указывающих мощность ламп.

Первая буква – тип лампы Л – люминесцентная, ТЛ – сигнальные, ЛЛ – тлеющего разряда, ГР – трубки для световой рекламы;

вторая буква – цвет излучения Б- белый, ТБ – тепло-белый, ХБ – холодно-белый, Д – дневной, Е – естественно-белый, УФ – ультрафиолетовый, К – красный, С – синий, З – зеленый, Г – голубой;

третья группа букв – одна или две буквы Ц – высокое или очень высокое качество цветопередачи;

четвертый элемент – одна буква – особенности конструкции лампы: Р – рефлекторная, У – U-образная, К – кольцевая, Б – быстрого пуска, А – амальгамная;

пятый элемент – группа цифр – мощность лампы в ваттах.

Люминесцентные лампы включаются в электрическую сеть с помощью пускорегулирующей аппаратуры (ПРА), для зажигания и обеспечения нормального режима работы. Это усложняет конструкцию, а следовательно, стоимость осветительных приборов и некоторую сложность в эксплуатации, что безусловно является недостатками люминесцентных ламп. К недостаткам люминесцентных ламп можно отнести сложность утилизации из-за наличия в колбе ртути, ненадежная работа в температурных диапазонах до 15°C и выше 25°C, относительно низкая стабильность светового потока в течение срока службы.

Кроме указанных недостатков люминесцентные лампы обладают рядом достоинств, к которым следует отнести:

- линейный источник света, что позволяет создать более равномерное освещение и эстетическое оформление осветительной установки;

- высокая световая отдача до 100 лм/Вт;

- большой срок службы до 10000...12000 ч;

- низкая яркость и температура поверхности колбы;

- качественная цветопередача (у отдельных серий ламп);

- относительно невысокая себестоимость изготовления.

Для зажигания люминесцентной лампы и ее нормальной работы требуется электромагнитный пускорегулирующий аппарат (ЭмПРА) или электронный пускорегулирующий аппарат (ЭПРА), в международной практике их принято называть, соответственно «Балластом» или «Электронным балластом».

В зависимости от схемы включения ламп применяют ЭмПРА стартерные и бесстартерные.

Стартерные ЭмПРА состоят из дросселя, стартера (зажигателя) и конденсаторов.

Стартер служит для автоматического предварительного подогрева электродов и зажигания лампы. Представляет собой лампу тлеющего разряда, состоящую из стеклянного баллона 2, наполненного инертным газом – неоном (рис. 2.6, а). В стеклянном баллоне вмонтированы два электрода: один металлический, другой биметаллический. Между электродами имеется зазор 2...3 мм.

Дроссель, представляет собой катушку индуктивности с сердечником из листовой электротехнической стали. Дроссель имеет индуктивность 4...5 Гн. Такая большая величина индуктивности, как правило, достигается за счет стального сердечника с высокой магнитной проницаемостью. Дроссель создает механические вибрации светильника на частоте 50 Гц с соответствующим звуковым давлением на той частоте. Кроме того, эта индуктивность приводит к значительному сдвигу по фазе между током и напряжением и снижению коэффициента мощности.

Серьезным недостатком схемы питания на частоте питающей сети являются пульсации светового потока лампы из-за низкой инерционности люминофора, что приводит к стробоскопическому эффекту при выполнении ряда производственных операций с вращающимися механизмами.

На рис. 3.2 приведена типовая схема стартерного зажигания люминесцентной лампы, включаемой в сеть 220 В.

В момент включения лампы выключателем SA, ее электроды и стартер оказываются включенными на полное напряжение сети. Напряжения сети для зажигания лампы не достаточно, но достаточно, чтобы вызвать в стартере разряд. В стартере возникает тлеющий разряд, под действием которого биметаллический электрод нагревается и, изгибаясь, замыкается с другим электродом неоновой лампы. Цепь стартера замыкается, и начинается процесс нагрева электродов лампы. По окончании разряда в стартере биметаллический электрод охлаждается, выпрямляется и разрывает электрическую цепь. А так как в электрическую цепь последовательно с лампой включена индуктивная нагрузка (дроссель), то в момент размыкания возникает импульс повышенного напряжения, вызывающий мощный дуговой разряд в лампе и зажигает ее.

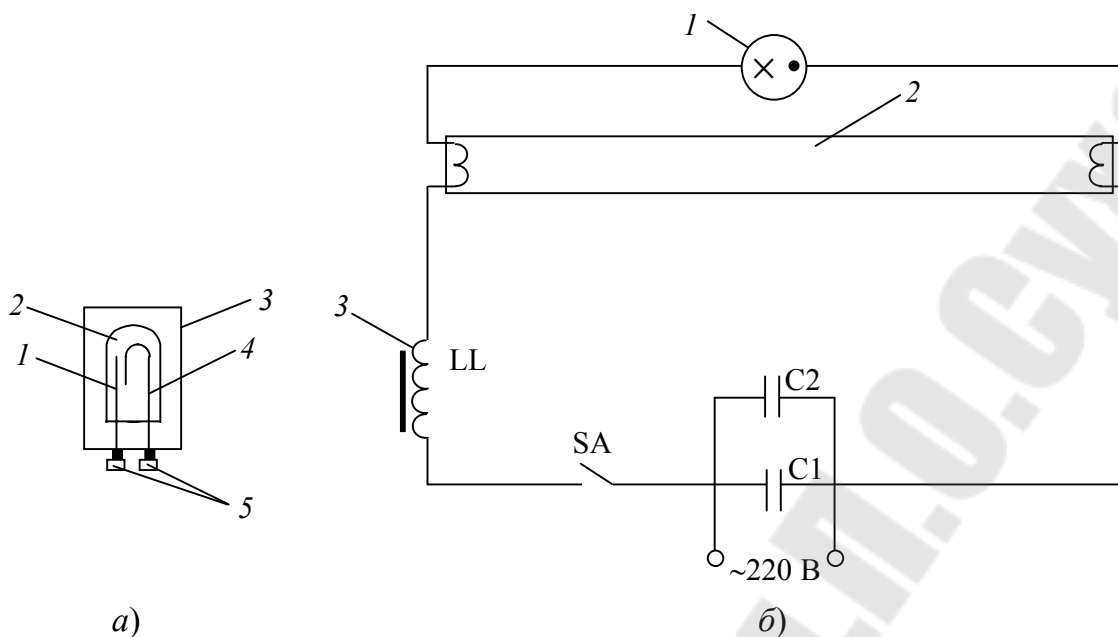


Рис. 3.2. Схема электрическая включения люминесцентной лампы в сеть:

*a* – стартер (неоновая лампа тлеющего разряда): 1 – металлический электрод; 2 – стеклянный баллон; 3 – защитная оболочка;

4 – биметаллический электрод;

*б* – схема принципиальная: 1 – стартер; 2 – лампа; 3 – балластный дроссель

Напряжение, подводимое к электродам лампы, воздействует на свободные электроны и ионы, находящиеся в газе, заставляя их перемещаться. На своем пути движущиеся электроны и ионы сталкиваются с атомами газа и срывают с их орбит другие электроны, которые лавинообразно увеличивают поток движущихся частиц. Срыв электронов со своих орбит сопровождается выделением квантов света. При этом резонансное излучение газов, наполняющих трубку (пары ртути, либо пары натрия), лежит в ультрафиолетовой области спектра и поэтому разряд не может быть источником видимого излучения. Поэтому на внутреннюю поверхность трубки наносится люминофор, преобразующий ультрафиолетовое излучение газа – наполнителя трубки – в излучение видимого спектра. Люминофор должен иметь достаточно высокую инерционность для того, чтобы снизить мерцание света при питании лампы от промышленной сети.

Стартерная схема зажигания относительно проста и дешева и поэтому широко распространена, но вызывает дополнительный расход электроэнергии около 20 % из-за включения в схему дросселя.

## Характеристики люминесцентных ламп

Световой поток люминесцентных источников света зависит в основном от мощности ламп, спектр излучения – от состава люминофора. Например, лампы типа ЛД испускают 92 % потока в области 460...610 нм, лампы ЛБЦ – 94 % в области 510...660 нм.

Пульсация светового потока обусловлена погасанием и перезажигом лампы в каждый полупериод переменного тока. Освещение объектов пульсирующим световым потоком утомляет зрение, вызывает стробоскопический эффект (кажущаяся неподвижность объекта при совпадении частот пульсации светового потока и движущегося объекта).

Пульсация светового потока характеризуется коэффициентом пульсации

$$K = \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{2\Phi_{\text{cp}}}, \quad (3.1)$$

где  $\Phi_{\max}$ ,  $\Phi_{\min}$ ,  $\Phi_{\text{cp}}$  – соответственно максимальное, минимальное и среднее значение светового потока лампы, лм.

Коэффициент пульсации определяется составом люминофора и схемой включения в сеть (составляет 25...40%).

Световая отдача люминесцентных ламп составляет 60...80 лм/Вт и зависит от свойств люминофора, соотношения длины и диаметра трубки лампы. Световая отдача снижается на 30...40 % к концу срока службы ламп. Это обусловлено необратимыми химическими реакциями люминофора с примесями в газах, износом электродов и другими факторами.

Срок службы люминесцентных ламп зависит от стойкости электродов. Электротехническая промышленность выпускает люминесцентные лампы со сроком службы до 10...12 тысяч часов.

Кроме стартерных схем зажигания люминесцентных ламп применяются бесстартерные схемы.

Схемы бесстартерного зажигания подразделяются на трансформаторные, импульсные.

Предприятия-изготовители для различных схем включения люминесцентных ламп (стартерных и бесстартерных) комплектуют отдельные элементы схем включения в блоки (ПРА). ПРА имеют маркировку состоящую из цифр и букв.

### Маркировка ПРА:



### Питание люминесцентных ламп на высокой частоте

При питании люминесцентной лампы переменным током с частотой, превышающей 20 кГц, световой поток увеличивается на 15...20 %, срок службы лампы на 20...30 %, при этом пропадают два главных фактора отрицательного воздействия на человека: пульсации светового потока и высокий уровень звукового давления. Создание мощных, относительно дешевых электронных ПРА высокой частоты стало возможным только с соответствующим уровнем развития микроэлектроники. Основной их недостаток – это высокая стоимость по сравнению с низкочастотными балластами.

В настоящее время разработаны и успешно применяются схемы зажигания люминесцентных ламп с электронными пускорегулирующими устройствами (ЭПРА) на базе полупроводниковых приборов, получившие название энергосберегающие, которые значительно улучшают качество освещения. ЭПРА служат для зажигания и стабилизации режима работы лампы, объединяя в одной схеме функции дросселя (индуктивного балласта), стартера, компенсирующих и помехозащитных конденсаторов. Электронный ПРА отключит неисправные лампы, избавляя от раздражительного мигания, а также включает лампы одновременно без шума и мерцания. Это увеличивает срок службы ламп и уменьшает расходы на обслуживание, позволяет экономить электроэнергию на 20...30%.

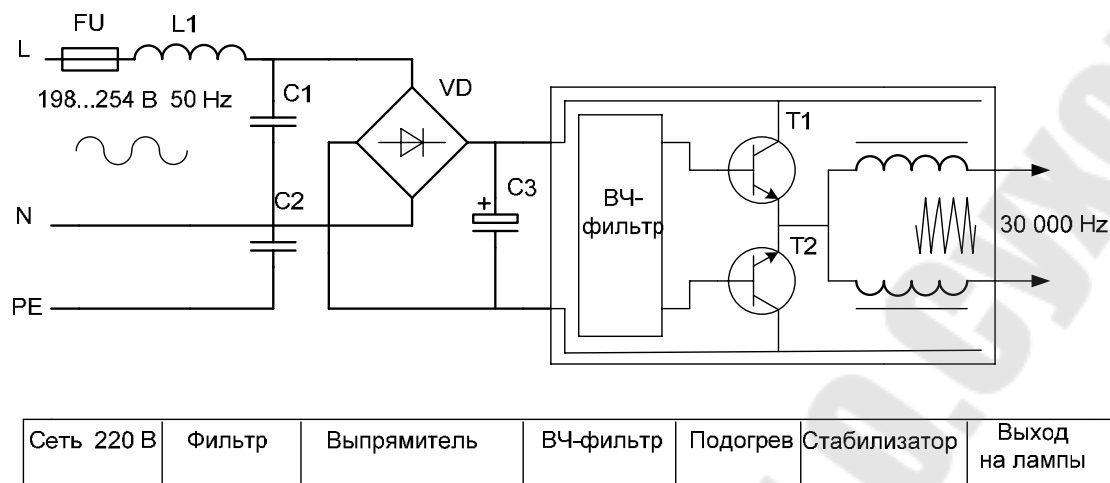


Рис. 3.3. Схема электронного ПРА

### **Компактные люминесцентные лампы**

Первоначальной целью выпуска компактных люминесцентных ламп являлась необходимость создания энергоэффективных ламп с относительно небольшим световым потоком для применения в бытовых осветительных приборах. Выпускаемые в настоящее время компактные люминесцентные лампы отличаются меньшими мощностями со шкалой мощностей от 5 до 105 Вт, с диапазоном светового потока от 200 лм и выше.

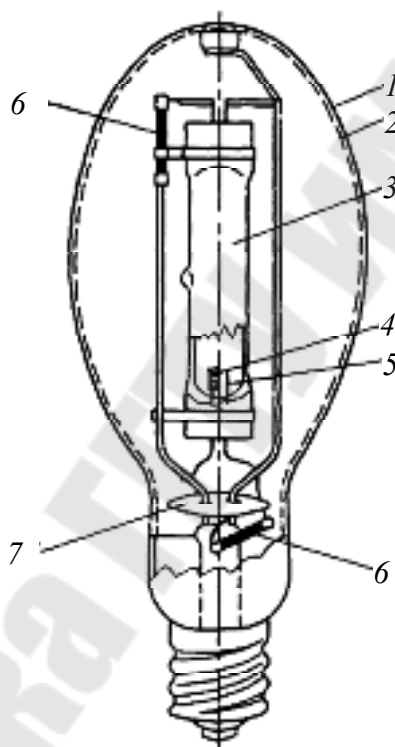
Конструктивно компактные (фигурные) лампы выпускаются для работы с выносным электромагнитным ПРА и с встроенным электронным ПРА и резьбовым цоколем типа E27, E40 что позволяет, непосредственно заменять лампы накаливания, не заменяя существующий осветительный прибор.



## 4. РАЗРЯДНЫЕ ЛАМПЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

### *Ртутные лампы высокого давления*

Ртутные лампы высокого давления представляют собой трубку из кварцевого стекла. В торцы трубки впаяны активированные самокалиющиеся вольфрамовые электроды (рис. 4.1). Внутри трубки после тщательного удаления воздуха вводится строго дозированное количество ртути и аргон при давлении 1,5...3,0 кПа. Аргон служит для облегчения зажигания разряда и защиты электродов от распыления в начальной стадии разгорания лампы, так как при комнатной температуре давление паров ртути очень низкое (около 1 Па). В некоторых типах ламп кварцевая трубка помещается в стеклянную колбу.



*Рис. 4.1.* Лампа типа ДРЛ (в разрезе):

1 – внешняя стеклянная колба; 2 – слой люминофора; 3 – разрядная трубка из прозрачного кварцевого стекла; 4 – рабочий электрод; 5 – зажигающий электрод; 6 – ограничительные резисторы в цепи зажигающих электродов; 7 – экран

После зажигания дугового разряда происходит нагревание разрядной трубки и испарение ртути. Давление паров ртути повышается, вместе с тем изменяются все характеристики разряда: растут напряжение на лампе, мощность, поток излучения и КПД. Этот процесс продолжается в течение 5...7 минут до тех пор, пока не испарится вся ртуть, после чего все характеристики стабилизируются.

Лампы типа ДРЛ (Д – дуговая, Р – ртутная, Л – люминесцентная). Они представляют собой ртутную горелку в виде трубки из прозрачного кварцевого стекла, смонтированную в колбе из тугоплавкого стекла (рис. 4.1). Внутренняя поверхность стеклянной колбы покрыта тонким слоем порошкообразного люминофора. В качестве люминофора применяют главным образом фосфат-ванадат иттрия, активированный европием.

Колба лампы снабжена резьбовым цоколем.

Лампы типа ДРЛ выпускаются с горелками, имеющими кроме двух основных электродов еще два зажигающих электрода, служащих для облегчения зажигания разряда. Лампы включаются в электрическую сеть через дроссель.

Лампы ДРЛ характеризуется высокой светоотдачей и сроком службы в среднем 10000 ч. Световая отдача ламп ДРЛ составляет примерно для ДРЛ 250 - 54, ДРЛ400 – 60, ДРЛ700 – 58, ДРЛ1000 - 59 лм/Вт.

Спектр видимого излучения смещен в сторону ультрафиолетового излучения и поэтому эти лампы непригодны для освещения тех помещений, где работа связана с высокими требованиями по цветопередаче.

### ***Металлогалогенные лампы***

Устройство и принцип действия металлогалогенных ламп основан на том, что галогениды многих металлов испаряются легче, чем сами металлы, и не разрушают кварцевое стекло. Поэтому внутрь колб металлогалогенных ламп кроме ртути и аргона дополнительно вводятся различные химические элементы в виде их галоидных соединений, например, йод, бром, хлор. После зажигания разряда, когда достигается рабочая температура колбы, галогениды металлов частично переходят в парообразное состояние. Попадая в центральную зону разряда с температурой несколько тысяч градусов Кельвина, молекулы галогенидов диссоциируют на галоген и металл. Атомы металла возбуждаются и излучают характерные для них спектры. Диффундируя за пределы разрядного канала и попадая в зону с более низкой температурой вблизи стенок колбы, они воссоединяются в галогениды, которые вновь испаряются. Такой замкнутый цикл обеспечивает некоторые преимущества перед лампами ДРЛ: во-первых в разряде создается концентрация атомов металлов, дающих требуемый спектр излучения, так как при рабочей температуре кварцевой колбы 800...900°C давление паров галогенидов многих металлов значительно выше, чем самих металлов, таких как таллий, индий, скандий, дис-

прозий и др. и во-вторых появляется возможность вводить в разряд щелочные металлы натрий, литий, цезий и другие агрессивные металлы (например, кадмий, цинк), которые в чистом виде вызывают быстрое разрушение кварцевого стекла, а в виде галогенидов не вызывают такого разрушения.

Для общего освещения в настоящее время наиболее широкое распространение получили металлогалогенные лампы со следующими составами металлогалогенных добавок (кроме ртути и зажигающего газа): 1) иодиды натрия, таллия и индия; 2) иодиды натрия, скандия и тория. Лампы имеют спектр, состоящий из отдельных линий ртути и линий добавок, расположенных в различных областях спектра, благодаря чему удается сочетать высокую световую отдачу с приемлемым качеством цветопередачи.

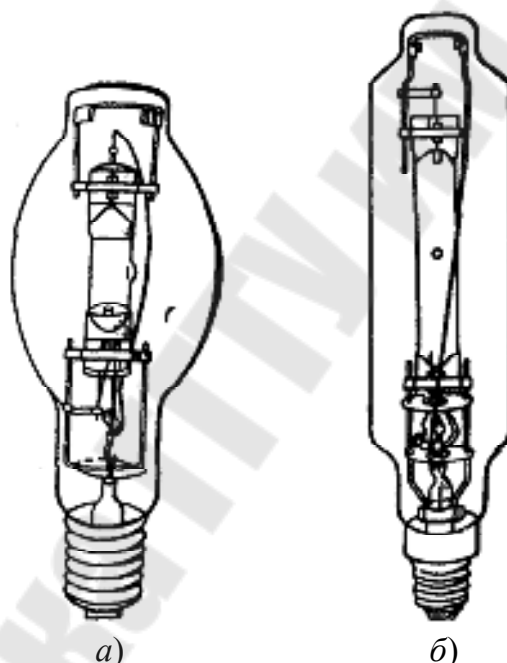


Рис. 4.2. Общий вид металлогалогенных ламп общего освещения:

а) – лампа 400 Вт в эллипсоидальной прозрачной колбе;

б) – в цилиндрической прозрачной колбе

Металлогалогенные лампы для общего освещения типа ДРИ: Д – дуговая, Р – ртутная, И – с излучающими добавками. Лампы типа ДРИ по конструкции подобны лампам типа ДРЛ. В качестве внешней колбы обычно применяется стандартная внешняя колба ламп типа ДРЛ, но без люминофорного покрытия или специальная колба цилиндрической формы (рис. 4.2 а, б).

У ламп ДРИ Световая отдача и цветопередача дугового разряда ртути и световой спектр значительно улучшаются. Светоотдача ламп

составляет примерно ДРИ 250 – 76, ДРИ400 – 87, ДРИ700 – 85, ДРИ1000 - 90 лм/Вт.

Световая отдача и более высокий индекс цветопередачи чем ламп ДРЛ, но срок службы ниже.

### ***Натриевые лампы***

Принцип действия натриевых ламп основан на использовании резонансного излучения D-линий натрия (589 и 589,6 нм). Эти лампы обладают самой высокой световой отдачей сроком службы среди разрядных ламп. Недостатком натриевых ламп является низкое качество цветопередачи и применяются в основном для освещения площадей, парков, уличного освещения.

В зависимости от рабочего давления паров натрия выделяют два типа ламп – натриевые лампы низкого давления (НЛНД) и натриевые лампы высокого давления (НЛВД).

Натриевые лампы низкого давления представляют собой разрядные трубки диаметром 15...25 мм и изготавливаются из специальных сортов стекла, устойчивых к воздействию разряда в парах натрия.

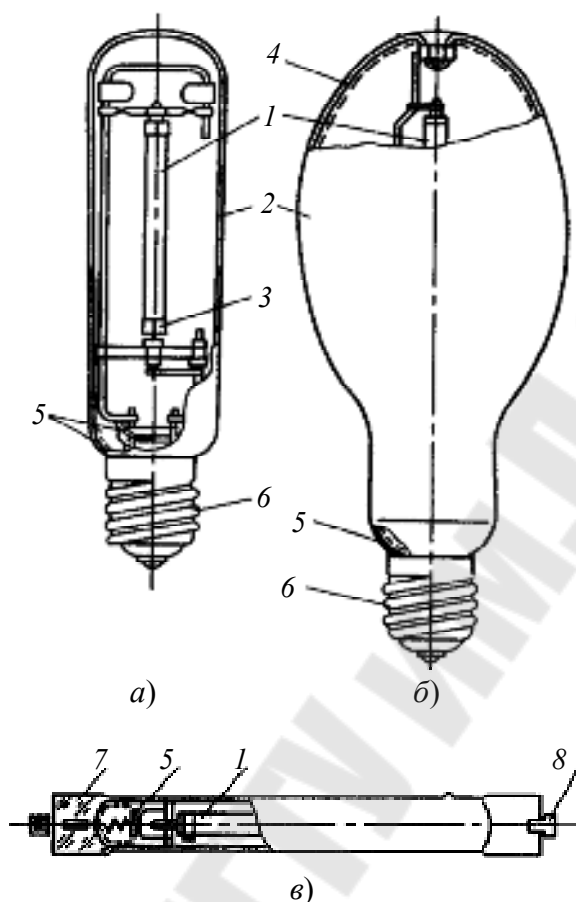
Применяются натриевые лампы низкого давления для освещения автострад, туннелей, складов, а также как архитектурное и декоративное освещение.

Натриевые лампы ДНаТ – дуговая натриевая трубчатая наиболее эффективные современные источники света. Световая отдача их достигает 100...130 лм/Вт (рекорд среди источников света). Продолжительность работы – до 15000 ч.

Спектр видимого излучения лежит в зоне желто-красного цвета, что делает эти лампы непригодными для освещения помещений, где выполняется зрительная работа. Обладая высоким световым потоком и искривленным спектром излучения освещение натриевыми лампами создает слепящее действие, дискомфорт, а, следовательно, быструю утомляемость и снижение работоспособности.

Натриевые лампы типа ДНаТ для внутреннего освещения применяются редко ввиду больших пульсаций излучаемого светового потока и значительного ультрафиолетового излучения. Их допускается использовать только с разрешения органов санитарного надзора при условии, что освещенность в зоне пребывания людей не превышает 150 лк. Эти лампы широко применяются для освещения улиц, площадей, парков. Натриевые лампы высокого давления типа ДНаТ имеют цилиндрическую разрядную трубку, смонтированную в вакуумиро-

ванной внешней колбе (рис. 4.3 а) и содержат смесь паров натрия и ртути при высоком давлении и зажигающий газ – ксенон.



*Рис. 4.3.* Общий вид натриевых ламп высокого давления:  
*а)* – в прозрачной колбе (типа ДНаТ); *б)* – в светорассеивающей колбе (типа ДНаТМт); *в)* – в софитном исполнении (типа ДНаТСф); 1 – разрядная трубка; 2 – стеклянная внешняя колба; 3 – теплоотражающий экран; 4 – светорассеивающее покрытие; 5 – барьерный газопоглотитель; 6 – цоколь резьбовой; 7 – кварцевая внешняя колба; 8 – цоколь специальный

Зажигание ламп осуществляется специальным устройством, подающим на лампу высокочастотный импульс с амплитудой 2...4 кВ. Время разгорания лампы 5...7 мин и определяется скоростью нагрева лампы и испарения натрия и ртути. По мере разгорания спектр излучения меняется от монохроматического желтого до нормального уширенного, соответствующего установившимся рабочим параметрам. Время повторного зажигания выключенной лампы определяется временем охлаждения разрядной трубки до температуры, при которой подаваемые импульсы напряжения достаточны для повторного зажигания разряда и составляет 2...3 мин.

На рис. 4.5, 4.6, 4.7 приведены электрические схемы включения разрядных ламп типа ДРЛ, ДРИ, ДНаТ в сеть.

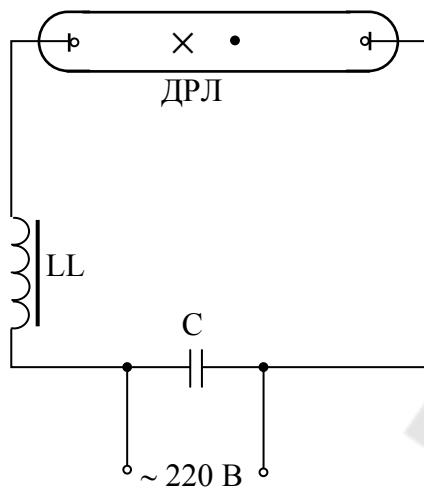


Рис. 4.5. Схема включения лампы ДРЛ в сеть

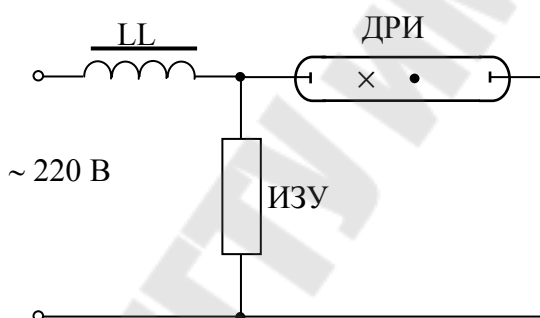


Рис. 4.6. Схема включения лампы ДРИ в сеть

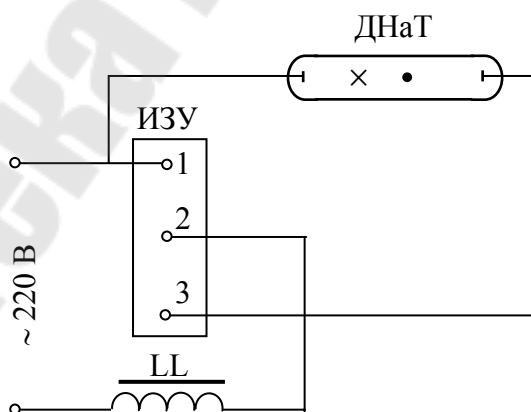


Рис. 4.7. Схема включения лампы ДНаТ в сеть

### **Ксеноновые лампы**

В ксеноновых лампах используется разряд в газе ксеноне при высоком и сверхвысоком давлениях и плотности тока, составляющей

десятки и сотни  $\text{A}/\text{см}^2$ . Разряд в ксеноне непрерывностью спектра излучения в пределах от 200 нм до 2 мкм. В видимой части спектр близок к солнечному и обеспечивает высокую цветопередачу.

Для зажигания как безбалластных, так и балластных ксеноновых ламп применяются специальные зажигающие устройства, дающие высоковольтный (до 50 кВ) импульс высокой частоты.

Применяются ксеноновые лампы для освещения больших открытых пространств, площадей, архитектурных сооружений и т.д.

Пускорегулирующие аппараты для ламп высокого давления

Устройства, содержащие элементы зажигания и стабилизации тока лампы, называют пускорегулирующими аппаратами (ПРА).

В обозначении ПРА для ламп ДРЛ, ДРИ, ДНаТ указывается:

- количество ламп;
- исполнение балластного сопротивления (И – индуктивное);
- мощность лампы;
- номинальное напряжение;
- исполнение лампы.

Например, 1И–250ДРЛ/220–В.

Для включения ламп высокого давления ДРИ и ДНаТ в комплект ПРА включаются импульсные зажигающие устройства (ИЗУ), работающие в совокупности с ПРА определенного типа ламп.

## 5. СВЕТИЛЬНИКИ

Для рационального освещения помещений или открытых пространств требуется распределить световой поток источника света вполне определенным образом направить его вниз или вверх. В одних случаях световой поток распределить равномерно, в других сконцентрировать. Для такого перераспределения светового потока применяют осветительные приборы.

Источники света (лампы) и осветительная арматура составляют осветительные приборы. Осветительные приборы подразделяются на светильники и прожекторы.

Светильник состоит из корпуса, оптической системы, ламподержателей (патронов), пускорегулирующих аппаратов (ПРА), крепежных изделий.

Оптическая система – отражатели служат для перераспределения светового потока ламп по законам отражения света. Отражатели бывают матовые или зеркальные. Материал для отражателей применяется сталь или алюминий.

Для защиты источника света от воздействия окружающей среды применяются защитные стекла.

Для надежной работы осветительной установки и ее экономичности большое значение имеет правильный выбор светильников.

Основными показателями, определяющими выбор светильников, является: конструктивное исполнение; светораспределение; блескость светильника; экономичность.

При выборе конструктивного исполнения и типа светильников следует учитывать условия окружающей среды, в которой будут установлены светильники. Если выбранный светильник конструктивно не соответствует условиям окружающей среды, то это может привести к его чрезмерному запылению, загрязнению, вследствие чего уменьшится световой поток, излучаемый им; возникновению коррозии металлических частей, и преждевременному выходу из строя; к повреждению изоляции проводов, что может привести к короткому замыканию в проводах или на корпус светильника; в пожароопасных и взрывоопасных помещениях – к пожару или взрыву.

Неправильный выбор светильников по светораспределению приводит к неэкономичному использованию светового потока источников света, и росту установленной мощности осветительной установки. При равных условиях предпочтительнее выбирать светильники с высоким КПД, несмотря на их более высокую стоимость. Эти до-



полнительные затраты быстро окупаются за счет экономии электроэнергии.

Защита от пыли, воды и агрессивных сред обеспечивается, как правило, выбором соответствующих конструкционных и светотехнических материалов, а также различной степенью герметизации внутреннего объема светильника или его отдельных полостей (электрических контактов).

В соответствии с классификацией электрического оборудования установлены одновременно степени защиты оборудования от попадания внутрь него твердых посторонних тел (в частности, пыли) и степени защиты персонала от соприкосновения с находящимися под напряжением частями, расположенными внутри оболочки изделий. Для обозначения степени защиты применяется международная система защиты, состоящая из букв *IP* (*International Protection*) и двух цифр обозначающих степени защиты. В помещениях с нормальной средой, влажных, с ограниченным количеством пыли и жарких применяют светильники со степенью защиты *IP20*. В помещениях сырых, особо сырых, с химически активной средой, пыльные и жаркие применяют светильники со степенью защиты *IP53*, *IP54*, *IP61*.

При выборе типов светильников для освещения помещений в зависимости от технологического процесса необходимо учитывать светотехническую классификацию светильников (классы по светораспределению в пространстве и формы кривой силы света).

Светораспределение – важная светотехническая характеристика светильника, определяющая распределение его светового потока в пространстве, окружающем светильник. Осветительные приборы, используемые на относительно больших расстояниях от освещаемых объектов, во много раз превышающих размеры самих приборов, характеризуются распределением силы света – пространственной плотностью потока.

Светораспределение светильников общего освещения обуславливается формой фотометрического тела светильника и описывается кривыми силы света. При этом под фотометрическим телом светового прибора понимается геометрическое место концов радиусов-векторов, выходящих из светового центра прибора, длина которых пропорциональна силе света прибора в соответствующем направлении.

Кривой силы света называется кривая зависимости силы света светового прибора от меридиальных и экваториальных углов, получаемая сечением фотометрического тела светового прибора плоскостью.

По светораспределению светильники классифицируются следующим образом:

- П – прямого света;
- Н – преимущественно прямого света;
- Р – рассеянного света;
- В – преимущественно отраженного света;
- О – отраженного света.

В зависимости от формы кривой силы света классификация светильников следующая:

- К – концентрированной;
- Г – глубокой;
- Д – косинусной;
- Л – полуширокой;
- Ш – широкой;
- М – равномерной;
- С – синусной.

Типовые кривые силы света приведены на рис. 5.1.

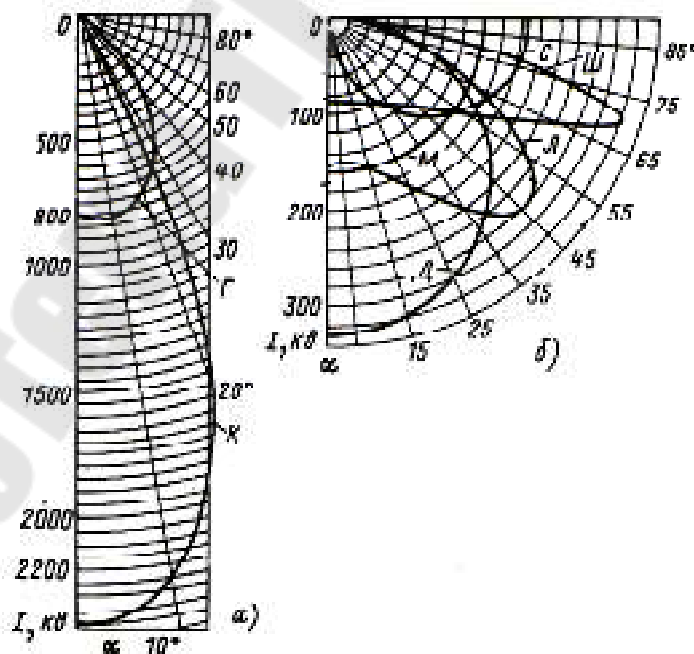


Рис. 5.1. Типы кривых силы света:

а) – концентрированная (К); глубокая (Г); б) – косинусная (Д); полуширокая (Л); равномерная (М); синусная (С); широкая (Ш)

Для освещения горизонтальных рабочих поверхностей в производственных цехах и помещениях с низкими коэффициентами отражения стен и потолков применяют светильники класса П с кривой силы света К при высоких потолках, а с уменьшением высоты потолков – кривые силы света Г и Д. Светильники классов Н и Р с кривыми Д и Л применяют для освещения административных, учебных помещений, лабораторий и др. Светильники классов В и О применяют в тех случаях, когда необходимо создать архитектурное освещение помещений в общественных зданиях, а светильники с кривой силы света Ш – только для освещения наружных территорий.

На рис. 5.2...5.4 представлен внешний вид светильников с ламп накаливания для освещения производственных помещений.

		
<p><i>Рис. 5.2.</i> Светильник для ламп накаливания НСП 03-60</p>	<p><i>Рис. 5.3.</i> Светильник для ламп накаливания НСП 09-200</p>	<p><i>Рис. 5.4.</i> Светильник для ламп накаливания НСП 17</p>

На рисунке 5.5 представлены кривые силы света светильника с лампами накаливания НСП 17.

На рисунке 5.6 и 5.7 представлен внешний вид светильников с лампами накаливания для общественных зданий. На рис. 5.8 представлен внешний вид светильника с лампой ДРЛ РСП 05.

На рис. 5.9 представлены кривые силы света светильника с лампой ДРЛ.

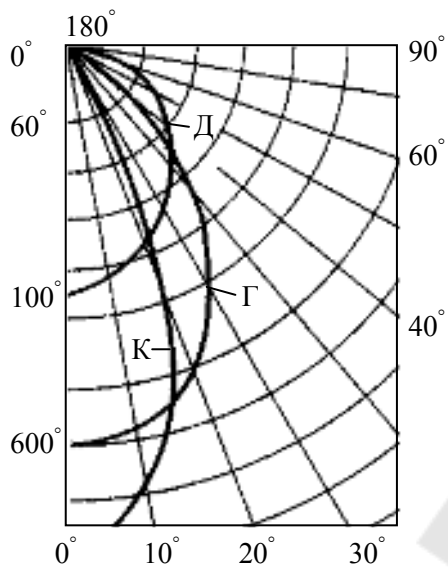


Рис. 5.5. Кривые распределения силы света светильника НСП 17



Рис. 5.6. Светильник для люминесцентных ламп ЛВО 4×18



Рис. 5.7. Светильник для люминесцентных ламп ЛПО 4×18



Рис. 5.8. Светильник для ламп ДРЛ серии РСП 05

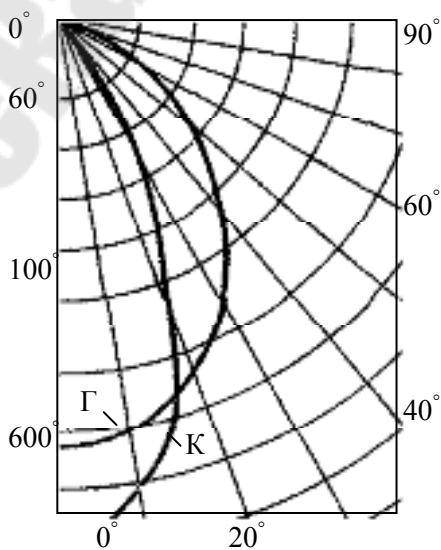


Рис. 5.9. Кривые распределения силы света светильника РСП 05

В цехах со светлыми потолками и стенами применяют светильники классов Н и П с теми же кривыми силы света в зависимости от высоты потолков. Электротехническая промышленность выпускает большое количество светильников, различных по светотехническим и эксплуатационным характеристикам.

По характеристикам блескости выбор осветительных приборов производится на основании расчета показателя ослепленности или показателя дискомфорта. Слепящее действие промышленных осветительных установок регламентируются показателем ослепленности  $P$ . Расчет показателя ослепленности трудоемок и для облегчения определения  $P$  разработан инженерный метод расчета [5], основанный на следующих исходных положениях:

1) метод составлен для зрительных работ, при которых линия зрения в рабочем положении направлена вдоль помещения горизонтально или ниже горизонта;

2) метод рассчитан для типовых круглосимметричных осветительных приборов и для конкретных типов осветительных приборов;

3) расчетная точка расположена между первым и вторым светильником среднего ряда;

4) длина помещения ограничена значением  $15h$  ( $h$  – высота подвеса светильника над рабочей поверхностью), так как при дальнейшем увеличении длины помещения ослепленность практически не меняется;

5) коэффициент отражения рабочей поверхности принят равным 10 %;

6) таблицы составлены для круглосимметричных осветительных приборов с лампами типа ДРЛ, в случае освещения люминесцентными лампами типа ЛБ (ЛБЦТ).

Для рабочей поверхности, коэффициент отражения которой выше  $\rho_p > 10\%$ , показатель ослепленности определяется по выражению

$$P = P_{\text{табл}} \frac{0,1}{\rho_p}. \quad (5.1)$$

Для возможности использования при проектировании освещения того или иного светильника в каталогах на светильники даны технические данные для каждого типа, в том числе его класс по светораспределению и форме кривой силы света.

Для общего освещения производственных помещений применяют светильники с лампами накаливания (ЛН), газоразрядными лам-

пами высокого давления (ДРЛ, ДРИ) и люминесцентные лампы низкого давления (ЛЛ). В зависимости от выполняемых технологических операций в помещениях и условий среды в них применяют светильники с соответствующими световыми характеристиками и конструктивным исполнением для защиты от внешней среды.

Система обозначений и маркировка светильников разработана для помещений промышленных, общественных и жилых зданий, рудников и шахт, светильников для наружного освещения. В соответствии с ней каждому новому светильнику присваивается шифр, структура которого по ГОСТ 13828–74 состоит из букв и цифр, обозначающих тип источника света, способ установки, назначение, номер серии, количество ламп в светильнике, номер модификации, обозначение климатического исполнения и категории размещения.

### ***Структура обозначения и маркировка светильников***

**1    2    3    4    5    6    7    8**

- 1** – Тип источника света (одна буква на первом месте в шифре):  
Н – лампа накаливания; И – галогенные; С – лампы- светильники (зеркальные и диффузные); Л – люминесцентные лампы; Р – ДРЛ; Г – металлогалогенные; Ж – натриевые; Б – бактерицидные; К – ксеноновые.
- 2** – Основной способ установки светильника:  
С – подвесные; П – потолочные; Б – настенные; Н – настольные; Т – напольные; В – встраиваемые; К – консольные; Р – ручные.
- 3** – Основное назначение светильника:  
П – для промышленных предприятий; Р – для рудников и шахт; О – для общественных зданий; Б – для жилых (бытовых) помещений; У – для наружного освещения; Т – для телевизионных студий.
- 4** – Номер серии, к которой принадлежит светильник (две цифры);
- 5** – Количество ламп в светильнике;
- 6** – Мощность ламп, Вт;
- 7** – Номер модификации светильника (трехзначное число);
- 8** – Обозначение климатического исполнения и категории размещения.

### ***Примеры обозначений светильников***

1. НСП05×500-016-У3 – светильник с лампой накаливания мощностью 500 Вт, общего назначения, подвесной для промышленных предприятий, серии 05, модификации 016, климатическое исполнение У, категория размещения 3.
2. ЛСП02-2×40-005-У3 – светильник с люминесцентными с двумя лампами мощностью по 40 Вт, подвесной, для общественных зданий, серии 02, модификации 005, климатическое исполнение У, категория размещения 4.

3. РКУ08×400- 014-ХЛ1 – светильник с ртутной лампой типа ДРЛ мощностью 400 Вт, консольный, уличный, серии 08, модификации 014, климатическое исполнение ХЛ (холодный климат), категория размещения 1.

### **Выбор светильников**

Выбор типа светильников следует производить с учетом характера их светораспределения, экономической эффективности и условий окружающей среды. Условия окружающей среды, соответствующие помещения и зоны приводятся ниже:

Пожароопасные класса:

П-I.....	Закрытые автостоянки, расположенные под зданиями
П-II.....	Столярные мастерские
П-III.....	Фонды открытого доступа к книгам, книгохранилища, архивы, переплетные и макетные мастерские, печатные отделения офсетной печати, светокопировальные; киноаппаратные, перемоточные; помещения для нарезки тканей, рекламно-декорационные мастерские; витрины с экспозицией из горючих материалов; помещения для хранения бланков, упаковочных материалов и контейнеров; отделения приема и выдачи белья и одежды, отделения разборки, починки и упаковки белья; пошивочные цехи, закройные отделения; отделения подготовки прикладных материалов, помещения ремонта одежды, ручной и машинной вязки, изготовления и ремонта головных уборов, скорняжных работ; фонотеки; кладовые: продуктов в сгораемой упаковке, в непродовольственных магазинах, пунктах проката и спецодежды; чердаки, кладовые и подсобные помещения квартир и усадебных домов
Пыльные.....	Отделы электрофотографирования
Влажные .....	Фотолаборатории; дистилляторные, автоклавные; горячие, доготовочные и заготовочные цехи; загрузочные, кладовые и моечные тары, кладовые овощей; сушильно-гладильные отделения, прачечные самообслуживания, уютные; декатировочные; санитарные узлы; тепловые пункты; охлаждаемые камеры; раздевальные в банях, бассейны
Сырые .....	Моечные кухонной и столовой посуды; отделения механической стирки, приготовления стиральных растворов; насосные
Особо сырые .....	Отделения ручной стирки; душевые, ванны, моечные, парильные

Жаркие .....	Горячие цехи предприятий общественного питания; парильные, моечные
Химически активные	Помещения ремонта и зарядки аккумуляторов, электролитные; отделения химической чистки
Взрывоопасные класса В-1б .....	Помещения зарядки тяговых и стартерных аккумуляторов (в верхней зоне выше отметки 0,75 общей высоты помещения от уровня пола)

*Примечания:*

1. В каждом конкретном случае характеристика помещения (зоны) по условиям среды уточняется в проектной документации.
2. В случаях, когда производственных и общественных зданиях предусматриваются помещения, не перечисленные в данном перечне, отнесение их к той или другой пожароопасной зоне следует производить в соответствии с требованиями ПУЭ.



## **6. ПРАВИЛА И НОРМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ. ВИДЫ И СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ**

*Системы освещения.* По способам размещения светильников в производственных помещениях различают системы общего, местного и комбинированного освещения.

Система общего освещения применяется для освещения всего помещения, в том числе и рабочих поверхностей. Общее освещение может быть равномерным и локализованным. Светильники общего освещения располагают только в верхней зоне помещения и крепят их на строительных основаниях здания непосредственно к потолку, на фермах, на стенах, колоннах или на технологическом производственном оборудовании.

При равномерном освещении создается более или менее равномерная освещенность по всей площади помещения. Освещение с равномерным размещением светильников применяется, когда в производственных помещениях технологическое оборудование расположено равномерно по всей площади с одинаковыми условиями зрительной работы или когда необходимо в помещениях общественного или административного назначения обеспечить равномерное освещение.

Общее локализованное освещение предусматривается в помещениях, в которых на различных участках производятся работы, требующие различной освещенности, когда рабочие места в помещении сосредоточены группами, а также при необходимости создания определенного направления света для групп рабочих мест.

Преимущества локализованного освещения перед общим равномерным заключается в сокращении мощности осветительных установок, возможности создать требуемое направление светового потока и избежать на рабочих местах теней от производственного оборудования и самих работающих.

Местное освещение предусматривается на отдельных рабочих местах (станках, верстаках, столах, разметочных плитах и т.д.) и выполняется светильниками, установленными непосредственно у рабочих мест.

Устройство в помещениях только местного освещения нормами запрещено. Местное ремонтное освещение выполняется ручными светильниками, которые подключаются через понижающий трансформатор на безопасном напряжении 12, 24, 36, 42 В в зависимости от категории помещения в отношении безопасности обслуживающего персонала.

Системы местного и общего освещения, применяемые совместно, образуют систему комбинированного освещения. Она применяется в помещениях с точными зрительными работами, требующими высокой освещенности. При такой системе светильники местного освещения создают освещенность только рабочих мест, а светильники общего освещения – все помещения, главным образом проходы и коридоры.

Система комбинированного освещения уменьшает установленную мощность и расход электроэнергии, так как лампы местного освещения включаются только на время выполнения работ непосредственно на рабочем месте.

*Виды освещения.* Для освещения помещений применяются следующие виды электрического освещения: рабочее, аварийное, охранное и дежурное. Аварийное освещение разделяется на освещение безопасности и эвакуационное [2].

Рабочее освещение следует предусматривать для всех помещений зданий, а также участков открытых пространств, предназначенных для работы, прохода людей и движения транспорта.

Аварийное освещение безопасности устраивается там, где при внезапном отключении рабочего освещения возможен взрыв и возникновение пожара, массового травматизма, длительного расстройства технологического процесса и т. д., а также нарушение работы ответственных объектов (электростанции, узлы радиопередачи, водоснабжения, теплоснабжения и т. д.). В общественных зданиях освещение безопасности должно устраиваться: в помещениях диспетчерских, операторских, пожарных постах, на постах пожарной охраны; в машинных залах вычислительных центров, киноаппаратных, узлах связи, электрощитовых; в гардеробах с числом мест хранения 300 и более; в детских комнатах; в торговых залах магазинов самообслуживания; в групповых и игральными-столовых, дошкольных учреждений; в вестибюлях гостиниц, залах ресторанов; в операционных блоках, реанимационных, родовых отделениях, перевязочных, процедурных, приемных отделениях, лабораториях срочного анализа, на постах дежурных медицинских сестер учреждений здравоохранения; в здравпунктах; в помещениях оперативной части, хранения ящиков выездных бригад, аптечных комнатах станций скорой медицинской помощи; ассистентских аптек; в машинных отделениях лифтов; в тепловых пунктах и насосных станциях жилых зданий.

В общественных зданиях аварийное освещение должно устраиваться в помещениях: диспетчерских, операторских, электрощитовых, насосных, здравпунктах, аккумуляторных, бойлерных. В дежурных помещениях узлов связи, постоянных постов охраны, пожарных постов и т.д.

Это освещение должно создавать на поверхностях, требующих обслуживания, освещенность 5 % нормированной для рабочего освещения при системе общего освещения, но не менее 2 лк.

Эвакуационное освещение служит для безопасной эвакуации людей из помещений при аварийном погасании рабочего освещения. Эвакуационное освещение должно обеспечивать освещенность основных проходов и ступеней лестниц не менее 0,5 лк.

Эвакуационное освещение в общественных зданиях должно устраиваться:

в проходных помещениях, коридорах, холлах, фойе и вестибюлях, на лестницах, служащих для эвакуации людей из зданий, где работает или постоянно пребывает одновременно более 50 человек, а также из здравпунктов, лечебно-профилактических учреждений, книго- и архивохранилищ, дошкольных учреждений, независимо от числа лиц, пребывающих там;

в помещениях, где одновременно могут находиться более 100 человек (аудитории, обеденные залы, актовые залы, конференц-залы);

в помещениях с постоянно работающими в них людьми, если вследствие отключения рабочего освещения и продолжения при этом работы производственного оборудования может возникнуть опасность травматизма.

Эвакуационное освещение в жилых зданиях должно предусматриваться при высоте здания 6 этажей и более, а также в общежитиях при числе проживающих 50 и более человек. Светильники эвакуационного освещения должны устанавливаться на путях эвакуации: в вестибюлях, лифтовых холлах и на площадках перед лифтами, в коридорах и лестницах.

Световые указатели «ВЫХОД» следует устанавливать:

у выходов из помещений обеденных и актовых залов, аудиторий, конференц-залов и других помещений, в которых могут одновременно находиться более 100 человек;

у выходов из коридоров, к которым примыкают помещения с общей численностью постоянно пребывающих в них более 50 человек;

вдоль коридоров длиной более 25 м и в общежитиях коридорного типа вместимостью более 50 человек на этаже. При этом световые указатели должны устанавливаться на расстоянии не более 25 м друг от друга, а также в местах поворотов коридоров.

Световые указатели «ВЫХОД» должны быть присоединены к сети аварийного освещения и устанавливаться на высоте не менее 2 м.

Для аварийного освещения могут применяться только лампы накаливания или люминесцентные. Разрядные ртутные лампы ДРЛ и металлогалогенные ДРИ для устройства аварийного освещения не применяются.

Светильники аварийного и эвакуационного освещения присоединяются отдельными линиями к независимому источнику питания или переключаются на него автоматически при внезапном отключении рабочего освещения. Кроме того, эти светильники должны отличаться от светильников рабочего освещения специально нанесенными знаками.

В нерабочее время во многих помещениях и вдоль границ территории предприятия необходимо минимальное искусственное освещение для несения дежурства охранных органов. Для этих целей предусматривается охранное освещение, которое должно создавать освещенность 0,5 лк на уровне земли, в горизонтальной плоскости.

#### ***Рекомендации по выбору источников света***

При выборе источников света рекомендуется руководствоваться следующими указаниями.

Газоразрядные лампы должны применяться:

- для общего освещения в системе комбинированного освещения;
- для освещения помещений общественных и административных зданий, кроме вспомогательных помещений;
- для местного освещения;
- для аварийного освещения (люминесцентные лампы);
- ртутные лампы высокого давления ДРЛ: Д – дуговая, Р – ртутная, Л – люминесцентная для аварийного освещения запрещены по причине длительного зажигания.

Лампы накаливания благодаря невысокой стоимости, простоте обслуживания, незначительными размерами и независимости их работы от условий внешней среды являются источником света массового применения, хотя КПД и световая отдача у них значительно ниже, чем у люминесцентных. Лампы накаливания используются для освеще-

щения производственных помещений, в которых выполняются работы, требующие низкого или среднего уровня освещенности, где выполняются грубые виды работ; помещений с особо тяжелыми условиями среды; жилых зданий; детских учреждений; палат больниц; вспомогательных помещений без постоянного пребывания людей и освещения улиц, проездов с небольшим движением транспорта; аварийного освещения.

Для успешного проведения многих зрительных работ источники света должны обеспечивать хорошую цветоцветную среду.

Зрительные работы в производственных помещениях и общественных зданиях классифицированы по двум признакам – уровню требований к цветопередаче, цветоразличению и точности зрительной задачи, что достигается через нормированную освещенность.

В последние годы на основании данных физиолого-гигиенических исследований выявлен ряд ограничений на применение некоторых источников света так, например, результаты ряда исследований цветоразличительной способности глаза и зрительного утомления при новых узкополосных люминесцентных лампах типа ЛБЦТ в сравнении с широкополосными люминесцентными лампами типов ЛБ, ЛЕЦ, ЛДЦ, ЛХЕ. Узкополосные лампы стимулируют положительные эмоции. Обладают свойством сдвигать восприятие цвета объектов в предпочитаемых массовым потребителем направлениях по сравнению с их «естественным» цветом при дневном свете. Например, цвет лица, зеленая листва, овощи и многие другие цвета выглядят при свете этих ламп «приукрашенными» и воспринимаются с положительными эмоциями, хотя цветопередача в этом случае далека от естественной.

Энергоэкономичные люминесцентные лампы (18, 36, 58 Вт) с узкополосным спектром излучения типа ЛБЦТ отличаются от обычных люминесцентных ламп типа ЛБ (20, 40, 80 Вт) более высокой световой отдачей (на 5...10 %) и позволяют получить экономию электроэнергии (5...8 %).

Люминесцентные лампы рекомендуется применять: в общественных зданиях, административно-бытовых и лабораторных помещениях, в низких производственных помещениях, в учебных и лечебных заведениях. При работе с цветными объектами, где проводится контроль по цвету и требуется очень хорошая цветопередача и цветоразличение, – лампы типов ЛДЦ, ЛЕЦ или ЛХЕ, а при более низких тре-

бованиях к цветопередаче – узкополосные люминесцентные лампы типа ЛБЦТ.

Рекомендации по применению различных типов ртутных ламп высокого давления: применяются при отсутствии требований к цветоразличению и цветопередаче для освещения производственных помещений, например, заготовительных, литейных, штамповочных ремонтно-механических и тому подобных цехов, складов, компрессорных и др.

Металлогалогенные лампы типа ДРИ: Д – дуговая, Р – ртутная, И – с излучающими добавками имеют среди ртутных ламп высокого давления наилучшую цветопередачу и наименьшую пульсацию светового потока, обладают наибольшей яркостью. Психологическая оценка металлогалогенных ламп в сравнении с люминесцентными лампами типа ЛБ и ртутными ДРЛ при выполнении производственной деятельности показала, что световая среда при металлогалогенных лампах оценивается в интервале основных освещенностей (150...400 лк) почти также хорошо, как и при люминесцентных лампах типа ЛБ.

Мощные металлогалогенные лампы типа ДРИ мощностью 250 Вт и выше рекомендуется применять в основном для общего освещения высоких и средних производственных помещений, где выполняются точные зрительные работы и имеют место повышенные требования к качеству освещения, которые не могут быть удовлетворены при использовании ламп типа ДРЛ.

Натриевые лампы типа ДНаТ для внутреннего освещения применяются редко ввиду больших пульсаций излучаемого светового потока и значительного ультрафиолетового излучения. Их допускается использовать только с разрешения органов санитарного надзора при условии, что освещенность в зоне пребывания людей не превышает 150 лк. Эти лампы широко применяются для освещения улиц, площадей, парков.

#### ***Выбор уровня освещенности и коэффициента запаса***

Выбор минимальной освещенности для внутреннего и наружного освещения производят по нормам СНБ 2.04.05 – 98 «Искусственное и естественное освещение» в зависимости от размера объекта различия, контраста объекта с фоном и отражающих свойств фона (рабочей поверхности).

Нормы устанавливают наименьшую освещенность, имея в виду, что она должна иметь место в «наихудших» точках освещаемой поверхности перед очередной очисткой светильников. При установле-

нии норм освещенности руководствуются следующей шкалой: 0,2 – 0,3 – 0,5 – 1 – 2 – 3 – 5 – 10 – 20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 400 – 500 – 600 – 750 – 1000 – 1250 – 1500 – 2000 – 3000 – 4000 – 5000 – 6000 – 7500 лк.

Определение уровня освещенности по основным нормам не всегда возможно, в проектной практике выбор освещенности производят по отраслевым нормам, составленным на основании СНБ. В этих нормах приводятся величины освещенности для каждого помещения, расположение рабочих поверхностей, рекомендуемый источник 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 лампы теряют свои первоначальные качества – снижается световой поток. Это вызвано загрязнением ламп, осветительной арматуры и отражающих поверхностей стен, потолков, рабочих поверхностей. Для того чтобы поддерживать значение освещенности на рабочих поверхностях на уровне не менее нормируемого в течение всего времени эксплуатации, ее расчетное значение принимают больше нормируемой. Это учитывается коэффициентом запаса (таблица 6.1), который всегда больше единицы. Он характеризует кратность между расчетным и нормируемым значениями освещенности

$$k = \frac{E_{\text{расч}}}{E} \quad (6.1)$$

В расчетах принимается  $k = 1,3$  – при лампах накаливания;  $k = 1,5$  – при газоразрядных лампах.

Таблица 6.1

### Значение коэффициентов запаса

Освещаемые объекты	Коэффициент запаса	
	при газоразрядных лампах	при лампах накаливания
Производственные помещения при содержании в воздухе пыли, дыма и др., мг/м <sup>3</sup> :		
больше 10 – темной	2,0	1,7
больше 10 – светлой	1,8	1,5
5 ... 10 – темной	1,8	1,5
5 ... 10 – светлой	1,6	1,4
меньше 5	1,5	1,3
Помещения с особым режимом по чистоте при светильниках нижнего обслуживания	1,3	1,15
Вспомогательные помещения с нормальной средой и помещения общественных и жилых зданий	1,5	1,3
Территории предприятий и городов	1,5	1,3

### Размещение светильников

При системе общего освещения светильники можно размещать над освещаемой поверхностью либо равномерно, либо локализовано. При равномерном освещении светильники располагают правильными симметричными рядами, создавая при этом относительно равномерную освещенность по всей площади, а при локализованном – индивидуально для каждого рабочего места или участка производственного помещения, создавая при этом требуемые освещенности только на рабочих местах.

На рисунке 6.1 показано расположение светильников общего освещения по высоте помещения. Минимальная высота подвеса светильников над освещаемой поверхностью определяется условиями ограничения ослепленности. Большинство помещений общественных зданий имеют высоту 2,5...3 м, поэтому высота подвеса ограничивается высотой помещения.

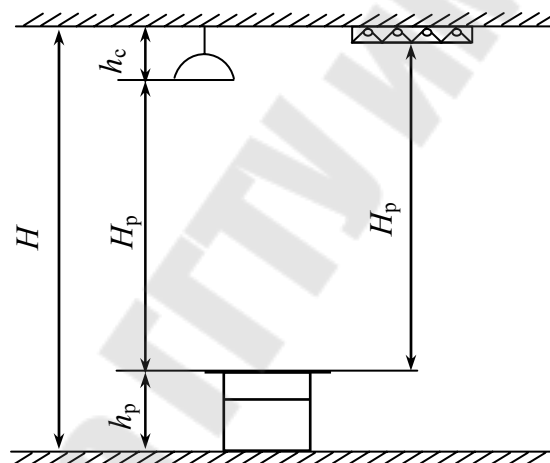


Рис. 6.1. Размещение светильников по высоте помещения:

При общем равномерном освещении лучшими вариантами расположения светильников с точечными источниками света являются расположение их по углам прямоугольника или в шахматном порядке (рис. 6.2 а, б) этим достигается наиболее равномерное распределение освещенности по всей площади помещения.

Выбор расстояния между светильниками зависит от типа светильника, высоты его подвеса над рабочей поверхностью, а иногда способ расположения светильников зависит от архитектурных или строительных условий.



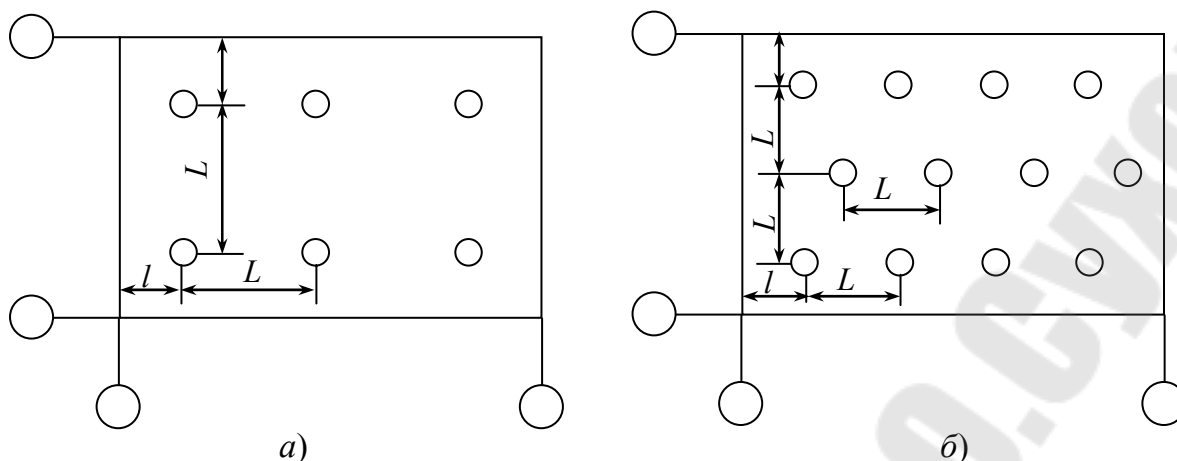


Рис. 6.2. Размещение светильников на плане помещения:  
 а) – по углам прямоугольника; б) – в шахматном порядке

При расположении светильников на плане помещения следует учитывать, что увеличение расстояния между светильниками в ряду или между рядами светильников приводит к увеличению мощности ламп и к увеличению неравномерного распределения освещенности на освещаемой поверхности, так как при этом освещенность под светильниками намного больше освещенности точек между ними. При частом расположении светильников неравномерность распределения освещенности снижается, однако в этом случае применять лампы малой мощности с невысокой светоотдачей, а это приводит к повышенному расходу электроэнергии и росту первоначальных затрат. Отсюда следует, что при выборе расстояния между светильниками, необходимо определить такое, которое обеспечило бы наименьшую установленную мощность осветительной установки и достаточную для практических условий равномерность освещения.

Установлено, что расстояние между светильниками зависит от наиболее выгодной величины отношения  $L/H_p$ ,

где  $L$  – расстояние между светильниками или рядами, м;

$H_p$  – высота подвеса светильника над расчетной поверхностью, м.

Наиболее выгодное расстояние между осветительными приборами  $L/H_p$  равно для классифицированных кривых: Д1 – 1,3; Д2 – 1,1; Г1 – 0,91; Г2 – 0,77; Г3 – 0,66; Г4 – 0,57; К1 – 0,49; К2 – 0,42, К3 – 0,36.

Наиболее выгодные величины отношения  $L/H_p$  в зависимости от кривой силы света приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2

Величина отношения  $L/H_p$ 

Тип кривой силы света	$L/H_p$		Тип кривой силы света	$L/H_p$	
	Рекомендуемые значения	Наибольшие допустимые значения		Рекомендуемые значения	Наибольшие допустимые значения
К	0,4...0,7	0,9	М	1,8...2,6	3,4
Г	0,8...1,2	1,4	Л	1,4...2,0	2,3
Д	1,2...1,6	2,1			

Ряды светильников с люминесцентными лампами следует располагать параллельно длинной стороне помещения со световыми проемами. Если проемы расположены на короткой стороне, то ряды светильников можно располагать и вдоль и поперек помещения. Расстояние от крайнего ряда светильников до стен ( $l$ ) рекомендуется принимать около  $0,5L$  при наличии у стен проходов и  $0,3L$  в остальных случаях.

При общем освещении рабочих помещений светильники с люминесцентными лампами для создания равномерного освещения следует располагать непрерывными рядами, если в каждом светильнике число ламп менее четырех. Светильники можно располагать и рядами с разрывами, при этом расстояние между их торцами не должно превышать  $0,5$  высоты подвеса светильников над освещаемой поверхностью.

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

В таблице 6.3 приведены значения относительного расстояния  $L/h$  для некоторых типов светильников.

Таблица 6.3

Значения относительного расстояния  $L/H_p$  для некоторых светильников

Тип светильника	$L/H_p$
Светильники с лампами накаливания	
НСП17	0,9...1,0
НСП01	1,4...1,6
Светильники с люминесцентными лампами	
ПВЛМ, ЛСП02, ЛСП06, ЛПО	1,4...1,6
Светильники с лампами ДРЛ РСП05, РСП08	1,4...1,6
РСП18; с лампами ДРИ ГСП17	0,9...1,0

### Размещения светильников

Намечаем размещение светильников на плане помещения по углам прямоугольника.

Определим высоту подвеса светильников в помещении

$$H_p = H - (h_c + h_p).$$

Определим число рядов светильников

$$R = \frac{B - 2l}{L} + 1.$$

Определить число светильников в ряду

$$N_R = \frac{A - 2l}{L} + 1.$$

Полученные результаты округляются до ближайшего целого числа и пересчитываются реальные расстояния:

между рядами светильников

$$L_B = \frac{B - 2l}{R - 1};$$

между светильниками в ряду

$$L_A = \frac{A - 2l}{N_R}.$$

Для прямоугольных помещений проверяется условие

$$1 \leq L_A / L_B \leq 1,5.$$

Если  $L_A / L_B < 1$ , то необходимо уменьшить число светильников в ряду на один или увеличить число рядов на один.

Если  $L_A / L_B > 1,5$ , то необходимо увеличить число светильников в ряду на один или уменьшить число рядов на один.

Общее число светильников определяем по формуле

$$N_{св} = RN_R.$$

Светильники с трубчатыми люминесцентными лампами могут располагаться вплотную друг к другу или с разрывом.

При применении светильников с люминесцентными лампами из светотехнического расчета определяется световой поток  $\Phi_R$  ряда светильников, а затем рассчитывается число светильников в ряду:

$$N_R = \frac{\Phi_R}{n_{св} \Phi_{л}}.$$

где  $n_{св}$  – число ламп в одном светильнике;

$\Phi_{л}$  – световой поток одной лампы, лм.

При этом расстояние между соседними светильниками в ряду

$$L_A = \frac{A - 2l - N_R l_c}{N_R - 1},$$

где  $l_c$  – длина одного светильника.

В процессе расчетов необходимо сделать, чтобы суммарная длина светильников с люминесцентными лампами в одном ряду не превышала длины помещения.

## 7. МЕТОДЫ СВЕТОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ

### *Методы светотехнического расчета электрического освещения*

Для расчета электрического освещения помещений применяются несколько методов: метод коэффициента использования светового потока, метод удельной мощности, точечный метод и другие.

Метод коэффициента использования светового потока применяется для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей.

Метод удельной мощности применяется для расчета освещения вспомогательных помещений.

Точечный метод служит для расчета освещения как угодно расположенных поверхностей и при любом распределении освещенности.

### *Метод коэффициента использования светового потока*

Помещения, в которых предусматривается общее равномерное освещение горизонтальных поверхностей, освещение рассчитывают методом коэффициента использования светового потока.

По этому методу расчетную освещенность на горизонтальной поверхности определяют с учетом светового потока, падающего от светильников непосредственно на расчетную поверхность и отраженного от стен, потолка и самой поверхности.

Метод коэффициента использования применим для расчета освещения помещений светильниками с лампами накаливания и газоразрядными.

Коэффициентом использования светового потока осветительной установки называется отношение светового потока, падающего на горизонтальную поверхность, к суммарному потоку всех ламп, размещенных в данном освещаемом помещении

$$\eta = (\Phi_{\text{п}} + \Phi_{\text{отр}}) / n\Phi_{\text{л}} = \Phi_{\text{р}} / n\Phi_{\text{л}},$$

где  $\Phi_{\text{п}}$  – световой поток, падающий от светильников непосредственно на освещаемую поверхность, лм;

$\Phi_{\text{отр}}$  – отраженный световой поток, лм;

$\Phi_{\text{л}}$  – световой поток ламп, лм;

$\Phi_{\text{р}}$  – результирующий световой поток, лм;  $n$  – количество ламп в освещаемом помещении.

При расчете по методу коэффициента использования световой поток ламп, необходимый для создания заданной минимальной освещенности определяется по формуле

$$\Phi = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot z}{n \cdot \eta}, \quad (7.1)$$

где  $E$  – заданная минимальная нормируемая освещенность, лк;  
 $k$  – коэффициент запаса (принимается 1,3...2,0);  
 $S$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>;  
 $z$  – отношение  $E_{\text{ср}}/E_{\text{min}}$  (неравномерность освещения принимается 1,15 – для ламп накаливания и ДРЛ; 1,1 – для люминесцентных ламп);  
 $n$  – число светильников (как правило, намечается до расчета);  
 $\eta$  – коэффициент использования, о.е. (для некоторых типов светильников можно определить по таблицам [5]).

Коэффициент использования определяется в зависимости от значений индекса помещения  $i$  и коэффициентов отражения потолка, стен, рабочей поверхности –  $\rho_{\text{п}}$ ,  $\rho_{\text{с}}$ ,  $\rho_{\text{р}}$ .

Индекс помещения можно вычислить по выражению:

$$i = \frac{AB}{h(A+B)}, \quad (7.2)$$

где  $A$  и  $B$  – длина и ширина помещения, м;  
 $h$  – расчетная высота подвеса светильников над освещаемой поверхностью, м.

Приблизительные значения коэффициентов отражения можно определить по следующим рекомендациям:

- побеленный потолок и стены – 80...70 %;
- побеленный потолок, стены окрашены в светлые тона – 50 %;
- бетонный потолок, стены оклеены светлыми обоями, бетонные стены – 30 %;
- стены и потолки в помещениях оштукатуренные, темные обои – 10 %.

Определить количество и мощность ламп можно двумя способами:

после расчета общего светового потока ламп, требуемого для создания нормированной освещенности в помещении, можно определить количество ламп, как отношение общего светового потока к световому потоку одной лампы, мощность которой выбрана предварительно

$$n = \frac{\Phi}{\Phi_{\text{л}}}, \quad (7.3)$$

где  $\Phi_{\text{л}}$  – световой поток лампы, лм.

### ПРИМЕР 1

Выполнить расчет электрического освещения производственного помещения методом коэффициента использования светового потока. Разместить светильники на плане помещения.

**Исходные данные:** Размеры помещения: длина –  $A = 12$  м; ширина –  $B = 6$  м; высота –  $h = 3,6$  м. Нормируемая освещенность  $E = 100$  лк, коэффициент запаса  $k = 1,5$ . Коэффициенты отражения: потолка, стен, расчетной поверхности соответственно  $\rho_{\text{п}} = 50\%$ ;  $\rho_{\text{с}} = 30\%$ ;  $\rho_{\text{р}} = 10\%$ . Светильники с лампами накаливания типа НСП17.

**РЕШЕНИЕ:**

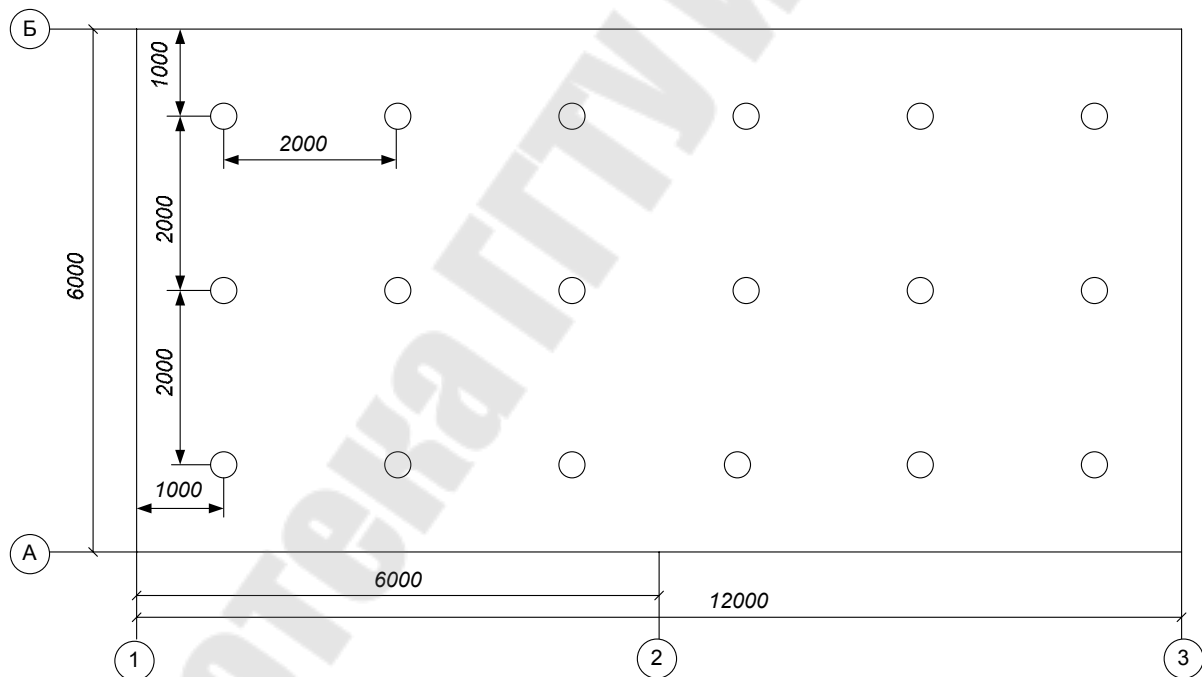


Рис. 7.1. Размещение светильников на плане помещения

Определим индекс помещения

$$i = 12 \cdot 6 / 3,6(12 + 6) = 1,1.$$

По таблице 5.2 [5] определим коэффициент использования по заданным коэффициентам отражения потолка, стен, расчетной по-

верхности и индексу помещения для светильника с лампами накаливания типа НСП –  $\eta = 0,22 \%$ .

$$\Phi = 100 \cdot 1,5 \cdot 72 \cdot 1,15 / 0,22 = 56454 \text{ лм.}$$

Лампа накаливания типа Б215-225-200 обладает световым потоком равным 3150 лм.

Определим количество ламп

$$n = 56454 / 3150 = 17,9 \approx 18 \text{ ламп ;}$$

Распределим светильники на плане помещения (рис. 7.1).

### **Метод расчета освещения по удельной мощности**

Метод удельной мощности широко применяют в проектной практике, и позволяет без выполнения светотехнических расчетов определять мощность всех ламп общего равномерного освещения, требуемого по нормам в данном помещении.

В основу расчета по удельной мощности положен метод коэффициента использования светового потока.

Из светотехники известно, что световая отдача лампы (лм/Вт) определяется по выражению

$$\omega = \Phi / P_{\text{л}}, \quad (7.4)$$

где  $\Phi = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot z}{n \cdot \eta}$ .

Отсюда

$$\Phi = P_{\text{л}} \cdot \omega + \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot z}{n \cdot \eta}. \quad (7.5)$$

Решив это уравнение относительно  $nP_{\text{л}}$  и разделив обе части уравнения на площадь  $S$ , получим

$$nP_{\text{л}} / S = P_{\text{уд}}. \quad (7.6)$$

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

Удельной мощностью  $P_{\text{уд}}$  называется отношение суммарной мощности всех ламп, установленных в данном помещении, к площади освещаемой поверхности (пола), Вт/м<sup>2</sup> :

$$P_{\text{уд}} = nP_{\text{л}} / S. \quad (7.7)$$



Метод расчета заключается в определении удельной мощности  $P_{уд}$ .

## ПРИМЕР 2

Выполнить расчет освещения по удельной мощности. Определить, мощность и количество ламп в складском помещении, а также суммарную мощность осветительной установки.

**Исходные данные:** Нормируемая освещенность  $E = 50$  лк; коэффициенты отражения потолка  $\rho_{п} = 50\%$ , стен  $\rho_{с} = 30\%$ , расчетной поверхности  $\rho_{р} = 10\%$ ; светильники с лампами накаливания типа НСП17; размеры помещения  $A = 24$  м,  $B = 12$  м,  $H = 6$  м.

### РЕШЕНИЕ:

Вычислим площадь помещения

$$S = A \cdot B;$$
$$S = 24 \cdot 12 = 288 \text{ м}^2.$$

По табл. 5.29 [5] при высоте помещения – 6 м и площади 288 м<sup>2</sup>, а также нормируемой освещенности 50 лк определим удельную мощность Вт/м<sup>2</sup> для светильника НСП17 составит  $P_{уд} = 8,8$  Вт/м<sup>2</sup>.

$$P_{уст} = 8,8 \cdot 288 = 2534,4 \text{ Вт};$$
$$n = 2534,4 / 200 \approx 12 \text{ ламп}.$$

Установленная мощность всех ламп определяется как произведение удельной мощности на площадь всего помещения

$$P_{уст} = P_{уд} \cdot S. \quad (7.8)$$

После того как определена мощность всех ламп, можно определить мощность одной лампы, намечая предварительно количество ламп, или определить количество ламп, намечая конкретную стандартную мощность ламп:

$$P_{л} = P_{расч} / n \text{ или } n = P_{расч} / P_{л}. \quad (7.9)$$

### Расчет освещения точечным методом

Точечный метод в отличие от метода коэффициента использования позволяет определить освещенность любой точки на рабочей поверхности, как угодно расположенной в пространстве, например, горизонтально, вертикально или наклонно. Расчет освещения точечным методом производят тогда, когда невозможно применить метод коэффициента использования, например расчеты локализованного ос-

вещения, освещения наклонных или вертикальных поверхностей. Точечный метод также часто применяют в качестве проверочного расчета, когда необходимо оценить фактическое распределение освещенности на освещаемой поверхности. Однако точечный метод имеет существенный недостаток: не учитывает освещенность, создаваемую световым потоком, отраженным от стен и потолков, вследствие чего освещенность получается несколько заниженной. Поэтому точечный метод можно применять для расчета освещения помещений, в которых, отраженный световой поток составляет незначительную долю по сравнению со световым потоком, падающим непосредственно на освещаемую поверхность, например производственных помещений с низкими коэффициентами стен и потолков, местного освещения, наружного освещения.

Определение горизонтальной освещенности. Горизонтальная поверхность  $Q$  освещается светильником общего освещения с точечным источником света (лампа накаливания или ДРЛ) (рис. 7.2).

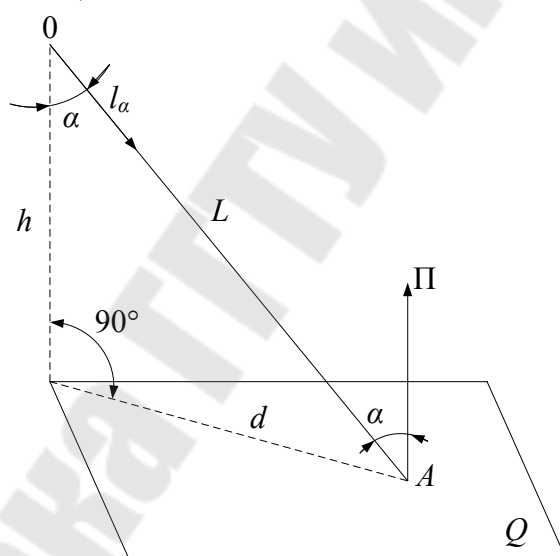


Рис. 7.2. К расчету точечным методом

Точка  $A$ , в которой необходимо определить освещенность находится на расстоянии  $l$  от источника света. Для определения освещенности в точке  $A$  применим соотношение между освещенностью и силой света:

$$E_{rA} = I_{\alpha} \cdot \cos \alpha / (l^2 \cdot K_3). \quad (7.10)$$

Из рисунка 7.2 выразим расстояние  $l$  через высоту подвеса светильника над расчетной поверхностью  $h$ :

$$l = h / \cos \alpha.$$

Отсюда горизонтальная освещенность в точке  $A$

$$E'_{гА} = I_{\alpha} \cos^3 \alpha (h^2 \cdot K_3). \quad (7.11)$$

Расчет по определению освещенности в заданной точке горизонтальной поверхности производят в следующем порядке.

1. Определяется тангенс угла, образованного вертикалью и лучом света, падающим в заданную точку:

$$\operatorname{tg} \alpha = d/h, \quad (7.12)$$

где  $d$  – расстояние от проекции оси светильника на плоскость до заданной точки, значение  $d$  измеряются по плану, м.

2. После определения тангенса угла  $\alpha$  определяется угол  $\alpha$  и  $\cos^3 \alpha$ .

3. По кривым силы света выбранного типа светильника с условной лампой  $\Phi'_{л} = 1000$  лм определяется по углу  $\alpha$  силу света  $I_{\alpha(1000)}$ .

Кривые силы света стандартных светильников с условной лампой в 1000 лм приводятся в светотехнических справочниках.

4. По формуле (7.11) вычисляется условная горизонтальная освещенность  $E'_{гА}$ . (для лампы в 1000 лм).

5. Условная освещенность пересчитывается с учетом светового потока лампы, установленной в светильнике:

$$E_{гА} = E'_{гА} \cdot \Phi_{л}/1000, \quad (7.13)$$

где  $\Phi_{л}$  – световой поток лампы, лм.

Если рассматриваемая точка  $A$  на поверхности  $Q$  освещается несколькими светильниками общего освещения, то учитываются и освещенности, создаваемые в точке  $A$  отдельными светильниками.

$$E_{гА} = e_{1A} + e_{2A} + \dots + e_{nA} = \sum e_{nA},$$

где  $e_{1A}, e_{2A}$  – освещенности, создаваемые в точке  $A$  отдельными светильниками.

Расчетная формула для определения фактической освещенности (лк) в точке  $A$  от нескольких однотипных светильников общего освещения с лампами одинаковой мощности примет вид

$$E_{г} = \Phi_{л}/1000 \cdot \sum e_{nA}. \quad (7.14)$$

Расчет освещения таким методом неудобен, так как требуется определить значения освещенности от каждого светильника и суммировать их.

Для упрощения этого метода в проектной практике применяют наиболее распространенный способ расчета 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 расчетной высоты подвеса светильника  $h$  и расстояния  $d$  проекции светильника на горизонтальную поверхность до заданной (контрольной) точки.

Расчет производится в следующем порядке:

1. По кривым рис.6.1-6.14 [5] для выбранного типа светильника в зависимости от расчетной высоты его подвеса  $h$  и расстояния  $d$ , определенного по плану, для каждого значения находят ближайшую кривую, на которой указана условная освещенность. Если точка, заданная координатами  $h$  и  $d$ , не попадает на кривую, то значение освещенности определяется посредством интерполирования между двумя ближайшими кривыми.

2. Найденные по кривым условные освещенности от ближайших светильников для расчетной точки суммируются:

$$\sum e_{\Gamma} = e_{\Gamma 1} + e_{\Gamma 2} + \dots e_{\Gamma n}.$$

3. Если установленные светильники однотипны с лапами накаливания одинаковой мощности, значение светового потока одной лампы при заданной освещенности  $E_{\Gamma}$  определяют как

$$\Phi_{\Gamma} = 1000 E_{\Gamma} \cdot K_{\Gamma} / (\mu \sum e_{\Gamma}), \quad (7.15)$$

где  $\mu$  – коэффициент, учитывающий дополнительную освещенность в заданной точке от удаленных светильников, не учтенных при определении условной освещенности, и от отражения стен, потолка и расчетной (рабочей) поверхности помещения. Значение  $\mu$  в зависимости от коэффициентов отражения поверхностей помещения принимают в пределах 1...1,2.

### ПРИМЕР 3

Определить освещенность в контрольной точке  $A$  (рис. 7.3).

**Исходные данные.** Для освещения помещения применены 6 светильников с типа НСП17 с лампами накаливания мощностью 200 Вт. Расчет производился методом коэффициента использования светового потока при нормируемой освещенности 200 лк.

#### **РЕШЕНИЕ:**

Определим расстояние (в метрах) проекции  $d$  каждого светильника до точки  $A$ . По кривым равной освещенности (изолюксам) (рис. 7.3) для светильника типа НСП17 выбираем значения условных освещенностей и записываем в таблицу 7.1).

Таблица 7.1

## Значения условных освещенностей

Номер светильника	Расстояние от проекции $d$ , м	Условная освещенность, лк
1	2,1	15
2	2,1	15
3	4,7	2
4	2,1	15
5	2,1	15
6	4,7	2

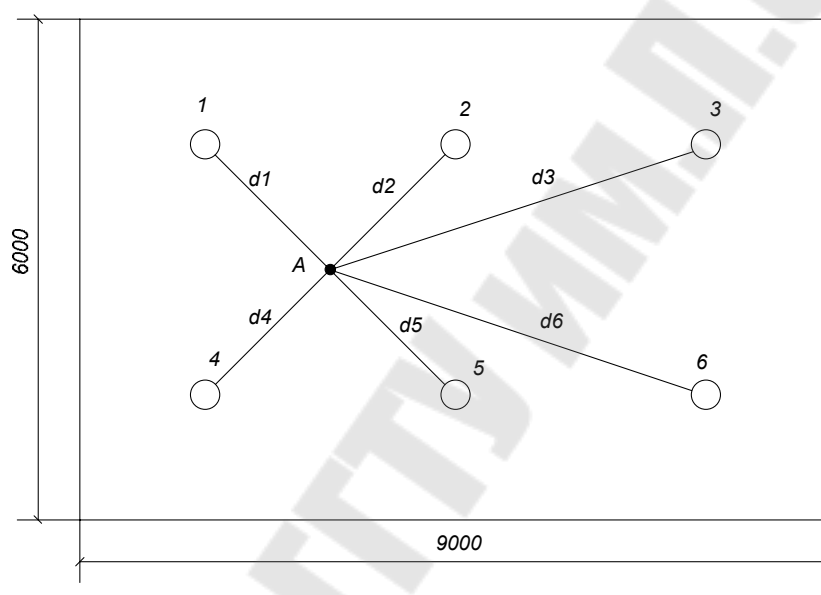


Рис. 7.3. Размещение контрольной точки

Суммируем найденные по кривым условные освещенности от светильников 1...6 для расчетной точки  $A$

$$\sum e_{\Gamma} = 15 + 15 + 2 + 15 + 15 + 2 = 64 \text{ лк.}$$

Определяем действительную расчетную освещенность в точке  $A$ :

$$E_{\Gamma A} = \Phi_{\text{л}} \cdot \mu \cdot \sum e_{\Gamma} / 1000 \cdot K_3.$$

Принимаем  $\mu = 1,1$ .

$$E_{\Gamma A} = 2920 \cdot 1,1 \cdot 34 / 1000 \cdot 1,3 = 158 \text{ лк,}$$

т. е. расчетная освещенность намного меньше нормируемой освещенности 200 лк.

### **Точечный метод расчета освещения люминесцентными лампами**

Как правило, светильники с люминесцентными лампами располагают рядами, преимущественно параллельно длинной стороне помещения или стене с окнами. Светильники собирают либо в сплошную линию, либо с небольшими разрывами. Если отношение расстояния между светильниками в ряду к расчетной высоте их подвеса не превышает 0,5, т. е.  $\lambda/h < 0,5$ , то можно считать, что световой поток распределяется на освещаемой поверхности вдоль ряда равномерно и его можно рассматривать как светящуюся линию.

Для расчета освещения от светящейся линии в практике широко распространен метод расчета с помощью кривых равных значений относительной освещенности (линейных изолукс). По этим кривым, построенным для наиболее распространенных стандартных светильников, определяют горизонтальную освещенность  $e$  при расположении ламп над освещаемой поверхностью на высоте  $h = 1$  м и световым потоком в 1000 лм, приходящимся на 1 м светящейся линии (плотность светового потока  $\Phi' = 1000$  лм/м).

На рисунках 6.37-6.56 [5] приведены линейные изолуксы для некоторых распространенных светильников с люминесцентными лампами.

Для определения относительной освещенности в точке  $A$  (рис. 7.4) по линейным изолуксам следует определить относительные размеры:

$$p' = p/h \text{ и } L' = L/h,$$

где  $p$  расстояние от точки  $A$  до перпендикуляра, опущенного на расчетную плоскость из конца светящейся линии.

Если заданная точка не лежит против конца ряда светильников, то его делят на две части или дополняют условным отрезком, после чего относительные освещенности суммируют или вычитают (рис. 7.4, а, б).

При общем равномерном освещении в концах ряда освещенность имеет наименьшую величину. Если вблизи стен в конце ряда светильников не производятся работы, то некоторым уменьшением освещенности по сравнению с нормируемой можно пренебречь. Если заданная точка освещается несколькими рядами, то значение  $e$  суммируются для всех рядов  $\sum e$ .

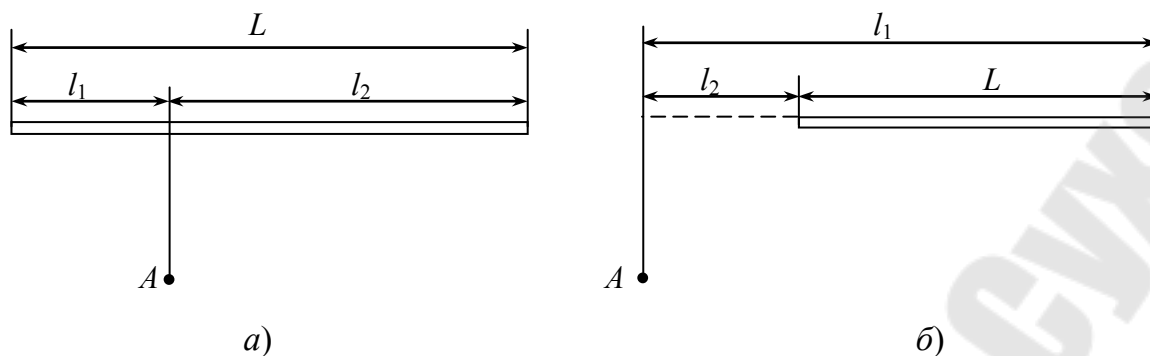


Рис. 7.4. Схема к расчету относительной освещенности

Необходимую плотность светового потока, лм/м, определяется по формуле

$$\Phi' = 1000 \cdot E \cdot k_3 \cdot h / \mu \cdot \sum e.$$

Полный световой поток лампы ряда (лм) будет  $\Phi = \Phi' \cdot L$ .

**Пример 4.** Освещение помещения производственного участка, имеющего размеры  $15 \times 6$  м, выполняется светильниками типа ПВЛМ  $2 \times 40$  Вт. Светильники подвешены на высоте 4 м над освещаемой поверхностью. Светильники располагаются в два ряда (рис. 7.5). Нормируемая освещенность  $E = 300$  лк.

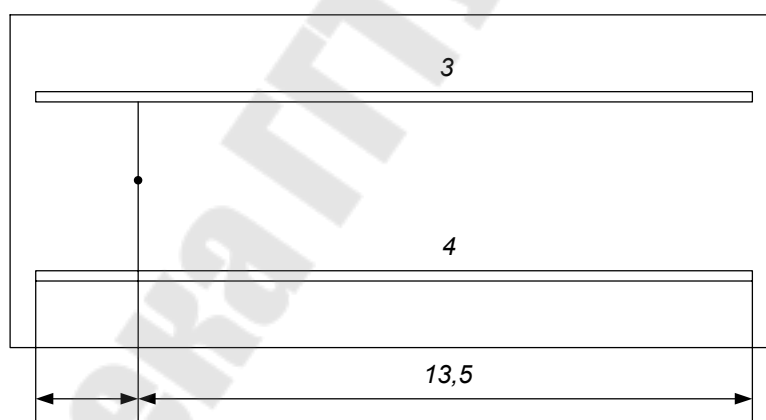


Рис. 7.5. Размещение светильников с люминесцентными лампами

**Решение:**

Точка А освещается четырьмя полурядами, обозначенными цифрами от 1 до 4.

Из рисунка [5] определяем относительные величины  $p'$  и  $L'$  для каждого отрезка ряда светильников, а по кривым линейных изолюкс для светильника с люминесцентными лампами определяем значения относительной освещенности и заносим в таблицу 7.2.

Таблица 7.2

Относительные величины  $p', L', e$ 

Номер отрезка ряда светильников	$p$	$L$	$p'$	$L'$	$e$
1	1,7	1,5	0,475	0,375	50
2	1,7	1,5	0,475	0,375	50
3	1,7	13,5	0,475	3,375	100
4	1,7	13,5	0,475	3,375	100

$$\sum e = 300.$$

Необходимую плотность светового потока определим с учетом коэффициента  $\mu = 1,1$ , учитывающего отражение поверхностей помещения

$$\Phi' = 1000 \cdot 300 \cdot 1,5 \cdot 4,0 / 1,1 \cdot 300 = 5454 \text{ лм/м.}$$

Полный световой поток ламп в ряду

$$\Phi = 5454 \cdot 15 = 81810 \text{ лм.}$$

Световой поток двух ламп в одном светильнике

$$\Phi_{\text{св}} = 2 \cdot 3200 = 6400 \text{ лм.}$$

Количество светильников в ряду

$$n = 81810 / 6400 = 13 \text{ шт.}$$



## 8. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ НАРУЖНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

### *Светильники наружного освещения*

**Светильником** называется устройство, состоящее из источника света (лампы) и осветительной арматуры, служащей для распределения светового потока, защиты глаз от слепящего действия источника света, защиты лампы от воздействия окружающей среды.

Светильники для наружного освещения классифицируются по светотехническим и конструктивным характеристикам. К светотехническим характеристикам относят светораспределение, типы кривой силы света и защитный угол.

Для наружного освещения производятся светильники с лампами ртутными разрядными лампами ДРЛ, натриевыми лампами ДНаТ, компактными фигурными люминесцентными лампами.

В зависимости от применяемых ламп и способа установки светильники имеют буквенное обозначение:

РКУ – с ртутной лампой ДРЛ консольный;

РТУ – с ртутной лампой ДРЛ торшерный;

ЖКУ – с натриевой лампой ДНаТ консольный;

ЖКУ – с натриевой лампой ДНаТ торшерный;

ЛКУ – с компактной люминесцентной лампой консольный.

На рис. 8.1 приведен внешний вид светильника с компактной люминесцентной лампой.



*Рис. 8.1.* Внешний вид светильника с компактными лампами серии ЛКУ 01-42 и ЛКУ 01-2x57

### *Прожекторы*

Прожектор является осветительным прибором дальнего действия, предназначенным для наружного освещения открытых пространств, например территорий заводов, складов, железнодорожных

станций, строительных площадок, площадей, стадионов, а также фасадов зданий, памятников и других сооружений.

Основные части каждого прожектора – источник света и оптическое устройство, размещенные внутри металлического кожуха. Для их защиты от механических повреждений, загрязнений и воздействия внешней среды корпус с лицевой стороны закрывается плоским стеклом.

Принцип прожектора заключается в том, что световой поток, излучаемый источником света с помощью оптического устройства, перераспределяется и концентрируется в направленный пучок света. Этим достигается большая сила света в данном направлении при небольшой мощности источника света.

Основными источниками, применяемыми в прожекторах, являются лампы накаливания, галогенные лампы, лампы ДРЛ, ДНаТ. В прожекторах общего назначения (заливного света) для получения более широкого пучка света применяют обычные лампы накаливания общего назначения, а при необходимости получения сконцентрированного пучка света – специальные прожекторные лампы накаливания.

В осветительной технике наиболее распространены прожекторы заливного света серии ПЗС (рис. 8.2). Эти прожекторы имеют стеклянные серебряные параболические отражатели. Прожекторы серии ПЗС комплектуются патронами с цоколем Е27 или Е40. В прожекторах устанавливаются лампы накаливания ЛОН500, ЛОН1000, а также лампы типа ДРВ 160/250 Вт, ДРЛ 150/250 Вт, ДНаТ 150/250 Вт.

На рисунке 8.2 представлен внешний вид прожектора серии ПЗС с лампой накаливания.



Рис. 8.2. Прожектор с лампой накаливания серии ПЗС



Рис. 8.3. Прожектор серии ИО

Прожекторы с галогенными лампами серии ИО (рис. 8.3). Применяются для освещения фасадов зданий, архитектурных сооружений, территорий промышленных предприятий, строительных и спортивных площадок и других открытых пространств. Комплекуются трубчатыми галогенными лампами мощностью, 150, 500, 1000, 1500 Вт. Корпус и отражатель изготовлены из алюминия. Отражатель может иметь гладкую полированную, микрорельеф, обеспечивающие разную ширину светового пучка.

На рис. 8.3 представлен внешний вид прожектора серии ИО с галогенной лампой

В зависимости от типа применяемых ламп прожекторы имеют обозначение:

ИО – с галогенной лампой;

РО – с ртутной лампой ДРЛ;

ЖО – с натриевой лампой ДНаТ;

ГО – с металлогалогенной лампой ДРИ.

### ***Выбор светильников***

Выбор светильников для наружного освещения производится по условиям окружающей среды и светотехническим характеристикам.

В зависимости от типа применяемых источников света, светильников, геометрического размещения их относительно освещаемой территории, высоты установки, интенсивности движения автотранспорта и людей, светотехнических характеристик дорожных покрытий применяется электрическое освещение территории промышленных предприятий, проездов, дорог и может выполняться различными способами с применением осветительных приборов с лампами накаливания и разрядными лампами. Светильники наружного освещения закрепляются на опорах, которые устанавливаются вдоль проездов, пешеходных проходов, по периметру территории предприятий, площадей, вдоль улиц.

В зависимости от ширины проезжей части улицы могут применяться различные схемы расположения светильников (рис. 8.4):  
а) – однорядная, рекомендуемая при ширине проезжей части до 12 м;  
б) – двухрядная – свыше 12 м.

В большинстве случаев дорожное покрытие выполнено из асфальтобетона, которое характеризуется светоотражением, и подразделяются на гладкие и шероховатые. Гладкие – покрытия с пониженным содержанием щебня, имеющие среднюю высоту выступающих частей меньше 0,5 мм, а шероховатые поверхности – более 0,5 мм.

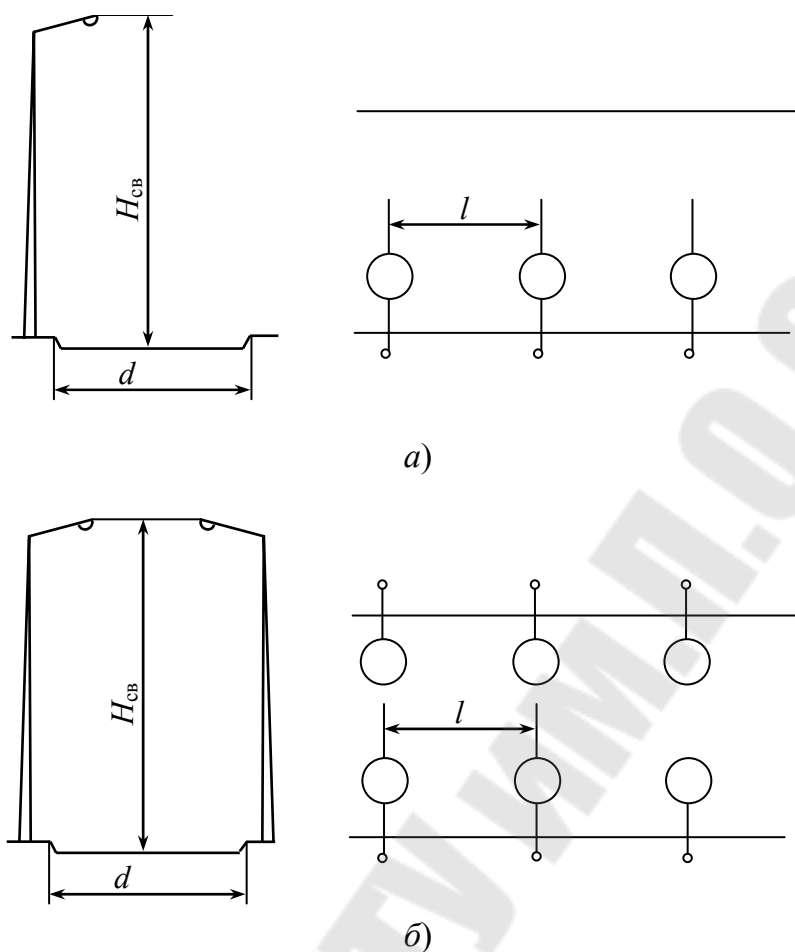


Рис. 8.1. Схемы расположения светильников:  
а) – однорядная; б) – двухрядная

### Расчет наружного освещения

Расчет наружного освещения заключается в определении расстояния между светильниками (шага светильников). Светотехнический расчет выполняется по методу коэффициента использования светового потока по формуле

$$\Phi = L \cdot K_3 \cdot \pi / \eta_L, \quad (8.1)$$

где  $L$  – нормируемая яркость покрытия,  $\text{кд/м}^2$ ;

$K_3$  – коэффициент запаса (принимается 1,3 – для ламп накаливания и 1,5 – для разрядных ламп);

$\eta_L$  – коэффициент использования светового потока (определяется по табл. 6.1 в зависимости от типа ламп, угла наклона светильника, характеристики покрытия, отношения ширины дороги к высоте к высоте установки светильников).

Таблица 8.1

## Значение коэффициента использования светильников

Тип светильника	Угол наклона светильника, град	Покрытие	Коэффициент использования светильников по яркости $\eta_L$ при отношении ширины дороги к высоте установки светильника, $b/h$					
			0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
НКУ 01-200	Гладкое	15	0,034	0,049	0,056	0,061	0,065	0,066
РТУ01-125	Гладкое	0	0,023	0,038	0,043	0,045	0,048	0,049
РТУ01-125	Шероховатое	0	0,018	0,028	0,032	0,035	0,037	0,039
РТУ02-250	Гладкое	0	0,017	0,029	0,033	0,034	0,036	0,037
РТУ02-250	Шероховатое	0	0,012	0,018	0,022	0,024	0,026	0,027
РКУ01-125	Гладкое	15	0,041	0,063	0,075	0,082	0,085	0,086
РКУ01-250	Гладкое	15	0,046	0,070	0,078	0,083	0,086	0,087
РКУ01-250	Шероховатое	15	0,044	0,065	0,073	0,077	0,080	0,081
РКУ01-400	Гладкое	15	0,046	0,072	0,081	0,086	0,089	0,091
РКУ01-400	Шероховатое	15	0,041	0,062	0,070	0,075	0,078	0,079
ГКУ02-250	Гладкое	15	0,065	0,099	0,109	0,115	0,117	0,119
ГКУ02-250	Шероховатое	15	0,054	0,079	0,087	0,092	0,094	0,095
ГКУ02-400	Гладкое	15	0,060	0,093	0,105	0,111	0,115	0,117
ГКУ02-400	Шероховатое	15	0,051	0,074	0,083	0,088	0,091	0,093
ЖКУ02-250	Гладкое	15	0,064	0,098	0,109	0,114	0,118	0,120
ЖКУ02-250	Шероховатое	15	0,053	0,076	0,085	0,090	0,092	0,094
ЖКУ02-400	Гладкое	15	0,056	0,086	0,096	0,102	0,105	0,107
ЖКУ02-400	шероховатое	15	0,045	0,070	0,079	0,084	0,086	0,88

По рассчитанному световому потоку  $\Phi$  и световому потоку, предварительно выбранных ламп, определяется расстояние между светильниками

$$l = S/b, \quad (8.2)$$

где  $S$  – площадь, которую могут осветить лампы,  $m^2$ ;  
 $b$  – ширина проезда (улицы), м.

**Пример 1.** Выполнить расчет электрического освещения проезжей части территории промышленного предприятия с шероховатым покрытием. Определить шаг светильников типа РКУ01-250 с лампой ДРЛ-250.

**Исходные данные.** Ширина проезжей части – 6 м; Высота установки светильников 9 м. Нормируемая яркость покрытия –  $0,4 \text{ кд/м}^2$ .

**Решение:**

Отношение ширины проезжей части к высоте установки светильников

$$b/h = 6/9 = 0,66.$$

Определим коэффициент использования светового потока по табл. 8.1.

$$\eta_L = 0,044.$$

Определим световой поток по формуле 6.1:

$$\Phi = 0,4 \cdot 1,5 \cdot 3,14 / 0,044 = 42,8 \text{ лм}.$$

При двухрядном расположении светильников площадь, которую могут осветить лампы, равна

$$S = 2 \cdot 5900 / 42,8 = 275 \text{ м}^2.$$

Тогда шаг светильников равен

$$l = 275 / 6 = 45 \text{ м}.$$

Для наружного освещения проездов, проходов промышленных предприятий, улиц и площадей при средней яркости покрытия 0,4...1,6 кд/м<sup>2</sup>, рекомендуется применять высокоэкономичные разрядные источники света высокого давления: ртутные лампы ДРЛ; натриевые лампы ДНаТ.

### **Определение расхода электроэнергии на освещение**

Годовой расход электроэнергии на искусственное освещение можно определить расчетным путем по выражению

$$W = P_p T_{\text{мо}}, \quad (8.3)$$

где  $P_p$  – расчетная нагрузка освещения, кВт;

$T_{\text{мо}}$  – годовое число использования максимума осветительной нагрузки, значения которого для географической широты Республики Беларусь приведены в таблице 8.2.

*Таблица 8.2*

### **Годовое число использования максимума осветительной нагрузки наружного освещения**

Вид освещения	Режим включения					
	ежедневно			в рабочие дни		
	на всю ночь	до 1 часа ночи	до 24 часов	на всю ночь	до 1 часа ночи	до 24 часов
Освещение территорий	3600	2450	2100	3000	2060	1750
Охранное освещение	3500	-	-	-	-	-

При отсутствии фактических данных работы осветительных приборов годовое число часов использования максимума нагрузки можно определить по выражению

$$T_{\text{н}} = 365 \cdot \frac{T_1 + T_2}{2} + T_{\text{п}}, \quad (8.4)$$

где  $T_1$  – длительность включения освещения в наиболее продолжительную зимнюю ночь (21 декабря), ч;  
 $T_2$  – продолжительность включения освещения в наиболее короткую летнюю ночь (21 июня), ч;  
 $T_{\text{п}}$  – дополнительная продолжительность включения электрического освещения в пасмурные дни. Дополнительное число часов освещения принимается равным 2...5% от числа часов включения.

### ***Проектирование установок наружного освещения***

Сущность проектирования осветительной установки сводится к обоснованию выбора типов осветительных устройств, нахождение вариантов оптимального их размещения и определению мощности источников света, обеспечивающих необходимые световые параметры для заданных условий.

Разработка проекта наружного освещения имеет следующие взаимосвязанные этапы: ознакомление с объектом проектирования; выбор норм освещенности; выбор системы освещения; выбор источников света и типа осветительных приборов; разработку вариантов размещения осветительных приборов; расчет осветительной установки; электротехническую часть проекта.

Для освещения наружных пространств применяются светильники и прожекторы. Прожекторы создают возможность освещения больших открытых пространств без установки на них большого числа мачт, а также значительно сокращают протяженность сети электропитания. С другой стороны, при применении прожекторов создается повышенное слепящее действие.

При освещении дорог, проездов и территории предприятий и организаций светильники рационально применять с натриевыми лампами ДНаТ или с фигурными люминесцентными лампами.

Выбор высоты установки светильников и прожекторов

Для ограничения слепящего действия установок наружного освещения на площадках промышленных предприятий высота установки светильников выбирается: для светильников с защитным углом

меньше 15° – не менее значений указанных в табл. 8.3; для светильников с защитным углом больше ил равно 15° – не менее 3,5 м при любых источниках света.

При применении прожекторов и наклонно установленных отношение осевой силы света прожекторов и светильников к квадрату высоты их установки, обозначаемой буквой  $c$ , в зависимости от нормируемой освещенности регламентируется значениями от 100 до 3500.

Исходя из этого, минимально допустимую высоту установки прожекторов можно выразить формулой

$$H = \sqrt{\frac{I_{\max}}{c}}, \quad (8.5)$$

$$H = m\sqrt{c}, \text{ откуда } m = \frac{1}{\sqrt{c}},$$

где  $I_{\max}$  – осевая сила света прожекторов и светильников прожекторного света, кд;

$c$  – квадрат высоты установки прожекторов.

Таблица 8.3

### Высота установки светильников наружного освещения

Светораспределение светильников	Наибольший световой поток ламп в светильниках, установленных на одной опоре	Наименьшая высота установки светильников, м	
		с лампами накаливания	с разрядными лампами
Полуширокое	менее 5000	6,5	7,0
	5000-10000	7,0	7,5
	10000-20000	7,5	8,0
	20000-30000	-	9,0
	30000-40000	-	10,0
	свыше 40000	-	11,5
Широкое	менее 5000	7,0	7,5
	5000-10000	8,0	8,5
	10000-20000	9,0	9,5
	20000-30000	-	10,5
	30000-40000	-	11,5
	свыше 40000	-	13,0



## 9. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

### *Схемы питания осветительной установки*

Питание электрического освещения осуществляется, как правило, совместно с силовыми электроприемниками от общих трехфазных силовых трансформаторов с глухозаземленной нейтралью и номинальным напряжением на низкой стороне равным 400/230 В. Номинальное напряжение в таких сетях составляет 380/220 В.

В случаях, когда характер силовой нагрузки не позволяет обеспечивать требуемое качество напряжения у ламп, применяются и самостоятельные трансформаторы для питания осветительной установки, например при питании, от совместного трансформатора мощных сварочных агрегатов и т.д.

Питание осветительных приборов ремонтного освещения с лампами накаливания должно производиться на безопасном напряжении (до 42 В) от понижающих трансформаторов с электрически раздельными обмотками высокого и низкого напряжения. В целях электробезопасности один из выводов или нейтраль обмотки низшего напряжения трансформатора должны быть заземлены или занулены.

Сети электрического освещения разделяются на питающие и групповые. Питающие сети это линии от комплектных трансформаторных подстанций (КТП) или вводно-распределительных устройств (ВРУ) или других пунктов питания до групповых щитков. Групповые сети – линии от групповых щитков до осветительных приборов, штепсельных розеток и понижающих трансформаторов светильников, требующих безопасного напряжения.

Питающие сети для осветительной установки и силового электрооборудования рекомендуется выполнять отдельными линиями.

В начале каждой питающей линии устанавливаются аппараты защиты и отключения. В начале групповой линии обязательно устанавливается аппарат защиты, а отключающий аппарат может не устанавливаться при наличии таких аппаратов по длине линии.

При питании внутреннего освещения от КТП нецелесообразно использовать мощные линейные автоматические выключатели для защиты линий питающей сети, так как их номинальные данные могут быть значительно выше мощности линий. Поэтому вблизи КТП устанавливаются магистральные щитки с автоматическими выключателями, от которых питаются групповые щитки.

Питание групповых щитков рабочего и аварийного освещения в производственных и общественных зданиях должны питаться от независимых источников питания. Допускается питание рабочего и аварийного освещения от разных трансформаторов одной двухтрансформаторной подстанции при питании трансформаторов от двух независимых источников.

Схемы питания электрического освещения должны обеспечивать: необходимую степень надежности электроснабжения; простоту, удобство эксплуатации и управления; экономичность осветительной установки.

Некоторые типовые схемы питания осветительных установок производственных зданий приведены на рис. 9.1...9.6.

Для электроснабжения осветительных установок третьей категории применяются схемы питания (рис. 9.1...9.2).

На рис. 9.1 приведены схемы питания электрического освещения от вводно-распределительного устройства (ВРУ) совместно с силовыми электроприемниками.

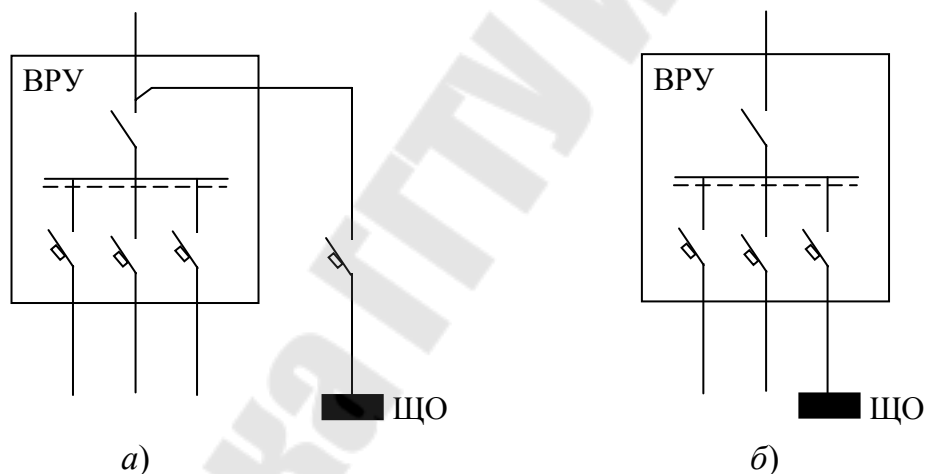


Рис. 9.1. Схема питания ОУ от ВРУ

На рис. 9.2 приведены схемы питания рабочего и аварийного освещения от одной однострансформаторной подстанции. Осветительные щитки питаются по отдельным линиям от щита подстанции (рис. 9.2, а) или по общей линии с разделением ее на вводе в здание (рис. 9.2, б).

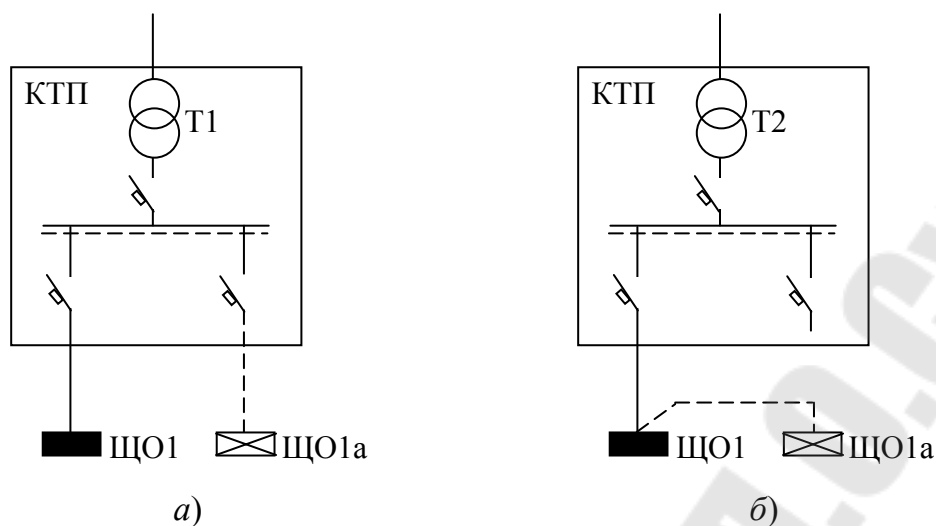


Рис. 9.2. Схема питания рабочего и аварийного освещения от однотономной подстанции

Для электрических нагрузок второй категории электроснабжения могут использоваться схемы питания освещения от двух однотономных подстанций, причем для рабочего и аварийного освещения используются разные трансформаторы (рис. 9.3).

При наличии в системе электроснабжения здания двухтрансформаторных подстанций щитки рабочего и аварийного освещения подключаются от разных трансформаторов (рис. 9.4).

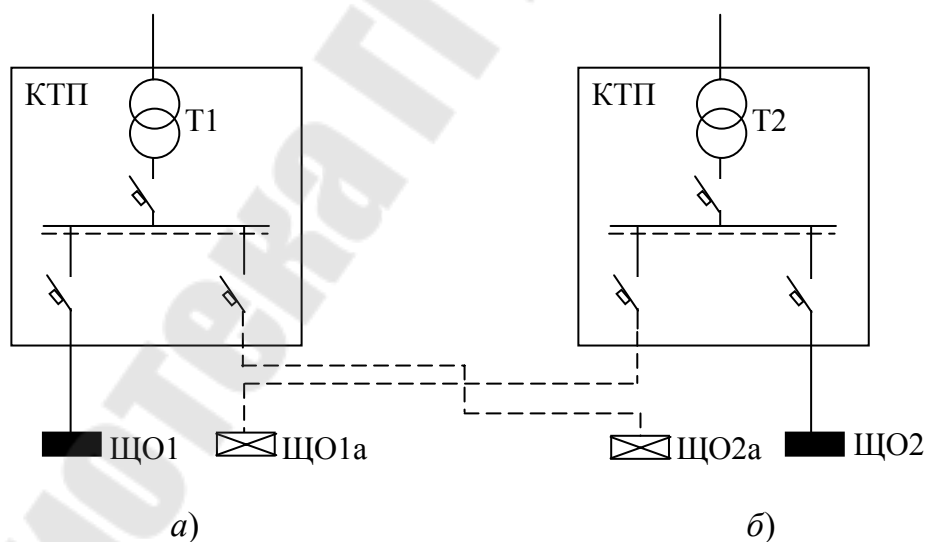


Рис. 9.3. Схема питания ОУ от двух однотономных подстанций

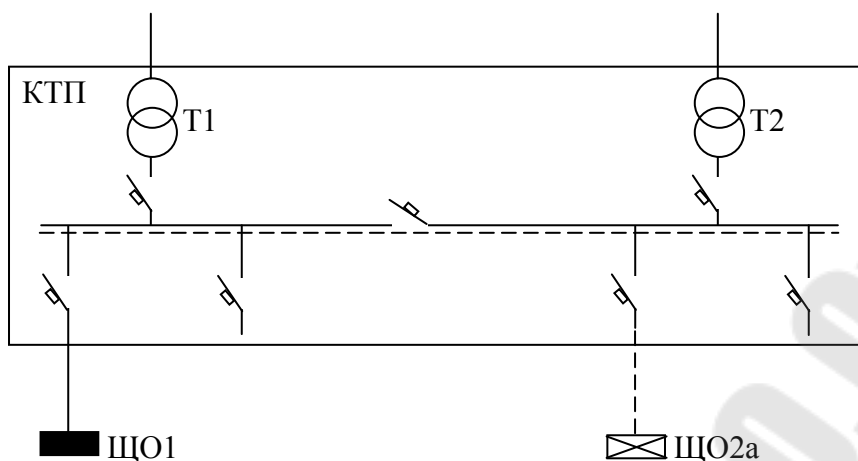


Рис. 9.4. Схема питания ОУ от двухтрансформаторной подстанции

В линейных шкафах комплектных трансформаторных подстанций устанавливается определенное количество аппаратов защиты, имеющих большие значения номинальных токов, поэтому устанавливаются магистральные щитки, от которых питаются групповые щитки (рис. 9.5).

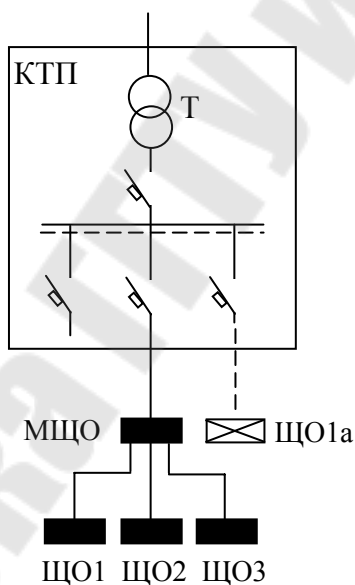


Рис. 9.5. Схема питания ОУ от магистрального щитка

Для электроустановок первой категории электроснабжения, в качестве второго источника питания аварийного освещения применяются аккумуляторные батареи, генераторы с дизельными или бензиновыми двигателями, а также используются электрические связи с ближайшими независимыми источниками (рис. 9.6).

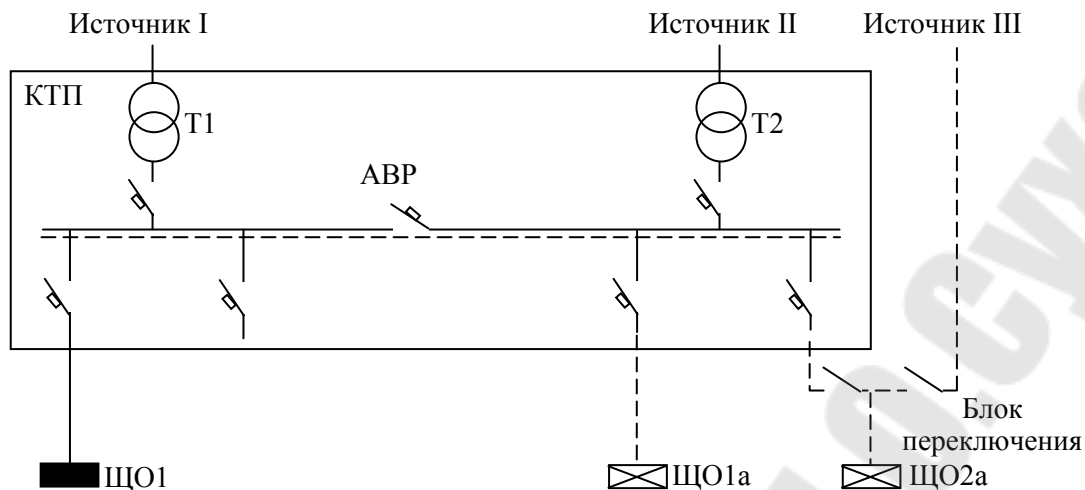


Рис.9.6. Схема питания аварийного освещения от третьего независимого источника

Эта схема используется и в качестве третьих независимых источников при питании электроустановок «особой» категории электроснабжения.

### **Определение установленной и расчетной мощности осветительной установки**

На основании выполненных светотехнических расчетов осветительной установки и выбора ламп определяется установленная мощность осветительной нагрузки.

Распределение нагрузок между фазами сети освещения должно быть, как правило, равномерным; разница в токах наиболее и наименее нагруженных фаз не должна превышать 30 % в пределах одного щитка и 15 % – в начале питающих линий.

Установленная мощность ( $P_{уст}$ ) складывается из мощности ламп выбранных для освещения помещений. При подсчете установленной мощности ламп следует суммировать отдельно мощность ламп накаливания ( $\sum P_{лн}$ ), люминесцентных ламп низкого давления ( $\sum P_{лл}$ ), дуговых ртутных ламп высокого давления ( $\sum P_{рлвд}$ ).

Для получения расчетной мощности вводится поправочный коэффициент спроса ( $K_c$ ) к установленной мощности, так как в зависимости от характера производства и назначения помещений часть ламп по разным причинам может быть не включена.

Расчетная нагрузка для ламп накаливания определяется умножением установленной мощности ламп на коэффициент спроса

$$P_{р.лн} = \sum P_{лн} \cdot K_c, \quad (9.1)$$

В осветительных установках с разрядными лампами расчетная максимальная мощность включает потери мощности в пускорегулирующей аппаратуре (ПРА) [6] и определяются:

для люминесцентных ламп низкого давления с ЭМПРА –

$$K_{ПРА} = 1,2;$$

для люминесцентных ламп низкого давления с ЭПРА –

$$K_{ПРА} = 1,05 \dots 1,08;$$

$$P_{р.лл} = K_{ПРА} \cdot \sum P_{лл} \cdot K_c; \quad (9.2)$$

для ламп ДРЛ, ДРИ и ДНаТ с дроссельным ПРА –

$$K_{ПРА} = 1,1;$$

для ламп с электронным ПРА

$$K_{ПРА} = 1,05;$$

$$P_{р.рлвд} = K_{ПРА} \cdot \sum P_{рлвд} \cdot K_c. \quad (9.3)$$

Значение коэффициента спроса для сети рабочего освещения производственных зданий равно:

1,0 – для мелких производственных зданий;

0,95 – для зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов;

0,85 – для зданий, состоящих из малых отдельных помещений;

0,8 – для административно-бытовых и лабораторных зданий промышленных предприятий;

0,6 – для складских зданий, состоящих из многих отдельных помещений.

Коэффициент спроса для расчета сети освещения аварийного и эвакуационного освещения следует принимать равным 1,0 [2].

Расчетная нагрузка от понижающих трансформаторов с вторичным напряжением 12, 24, 36, 42 В складывается из осветительных приборов, установленных стационарно и нагрузки переносного освещения исходя из мощности одного ручного осветительного прибора 40 Вт с коэффициентом спроса 0,5...1,0, принимаемым в зависимости от степени использования переносного освещения.

В зависимости от нагрузки применяются однофазные понижающие трансформаторы ОСОВ-0,25; ОСО-0,25; однофазные комплектные ЯТП-0,25; АМО-3-50 и трехфазные ТСЗ-1,5/1; ТСЗ-2,5/1.

### ***Выбор типа, мест расположения магистральных и групповых щитков и способов прокладки электрической проводки***

При выборе типов щитков учитывают условия среды в помещениях, способ установки щитка, количество и тип установленных в них аппаратов защиты.

По степени защиты от внешних воздействий щитки имеют следующие конструктивные исполнения: защищенное, закрытое, брызгонепроницаемое, пыленепроницаемое, взрывозащищенное и химически стойкое.

Конструктивно щитки изготавливаются для открытой установки на стенах (колоннах, строительных конструкциях) и для утопленной установки в нишах стен. При размещении их следует выбирать помещения с более благоприятными условиями среды.

Магистральные и групповые щитки комплектуются аппаратами защиты плавкими предохранителями или автоматическими выключателями в однополюсном или в трехполюсном исполнении.

Осветительные сети выполняют проводами и кабелями с алюминиевыми и медными жилами различными способами электрической проводки.

Способы выполнения электрической проводки должны обеспечивать:

- надежность, которая достигается соответствием условиям среды, механической прочностью жил проводов и кабелей, защитой от внешних механических повреждений;
- безопасность в отношении пожара, взрыва, поражения электрическим током;
- индустриализацию выполнения монтажных работ;
- экономию черных и цветных металлов;
- экономичность (наименьшую стоимость);
- удобство эксплуатации (доступность, ремонтпригодность);
- требование эстетики (не нарушая эстетики архитектуры помещений).

Для выполнения электрической проводки применяются провода и кабели с алюминиевыми и медными жилами.

Для выполнения электрической проводки сети освещения широкое распространение получили провода и кабели следующих марок:

АПВ, ПВ-1 – изолированные одножильные провода в поливинилхлоридной изоляции, имеют универсальное использование и прокладываются в трубах, в коробах и на изоляторах;

АППВ, ППВ (АППВС, ППВС) – плоские двух- трехжильные провода для скрытой несменяемой проводки не применяются на основании требований изложенных в стандарте [13]. Допускается прокладывать в трубах, коробах и на изоляторах. Для скрытой прокладки под штукатуркой, в бетоне, в кирпичной кладке, в пустотах строительных конструкций, а также открыто по поверхности стен и потолков на лотках, на тросах и других конструкциях должны применяться изолированные провода с защитной оболочкой или кабели;

АПРТО, ПРТО – провода с резиновой изоляцией жил для прокладки в трубах;

АВТ, АВТУ, АВТВ, АВТВУ – тросовые трех- четырехжильные провода с поливинилхлоридной изоляцией жил, содержащие в своей конструкции несущий стальной трос;

ПРКА – нагревостойкие провода с медными жилами для зарядки светильников;

АВВГ, ВВГ – кабели с поливинилхлоридной изоляцией и оболочкой;

АВРГ, ВРГ – кабель с поливинилхлоридной оболочкой и резиновой изоляцией;

АНРГ, НРГ – с резиновой термостойкой изоляцией и резиновой (наиритовой) негорючей оболочкой.

Внутренние электрические сети сечением до 16 мм<sup>2</sup> рекомендуется выполнять проводами и кабелями с медными жилами.

Способ прокладки проводов и кабелей сети электрического освещения зависит от характеристики помещений по условиям среды.

Для сети электрического освещения производственных, административно-бытовых, общественных и жилых зданий применяются открытые и скрытые электропроводки.

В производственных зданиях применяются открытые электропроводки. Открытые электропроводки прокладываются по поверхностям стен, потолков, по фермам и другим строительным элементам зданий.

Открытые электропроводки в осветительных сетях выполняются следующими основными способами:

– непосредственно по строительным основаниям (с креплением скобами или с помощью монтажно-строительного пистолета пристреливаются стальные полосы, на которые бандажом закрепляются провода и кабели);

– прокладка на лотках и в коробах;



- тросовые проводки, выполняемые проводами и кабелями, закрепляемые и подвешиваемые на тросе или тросовыми проводами;
- проводки в стальных и пластмассовых трубах;
- применение осветительных шинопроводов.

Скрытые электропроводки преимущественно применяются в административно-бытовых, общественных и жилых зданиях следующими основными способами:

- прокладка проводов в каналах и пустотах строительных оснований, является наиболее дешевым способом;
- проводами в трубах, проложенных в подготовке полов, в монолитных перекрытиях, стенах и перегородках, полостях за подвесными потолками;
- плоскими проводами в подготовке полов, под слоем штукатурки стен.

В местах прохода проводов и кабелей через стены, перегородки, междуэтажные перекрытия необходимо обеспечить возможность смены электропроводки. Для этого проход должен быть выполнен в трубе, коробе или в строительных конструкциях должны быть предусмотрены отверстия. Зазоры между проводами и, кабелями и трубой или коробом следует заделывать легкоудаляемой массой из негорючего материала.

При скрытой прокладке проводов, как правило, следует применять выключатели и розетки в утопленном исполнении.

Выключатели для светильников общего освещения должны устанавливаться на высоте от 0,8 до 1,7 м от пола. Разрешается установка выключателей под потолком, управляемых с помощью шнура.

Розетки должны устанавливаться в местах удобных для их использования и с учетом проектируемой расстановки оборудования и мебели, но не выше 1 м.

Допускается установка штепсельных розеток в (или на) специально приспособленных для этого плинтусах или кабельных каналах из негорючих материалов.

В школах и детских дошкольных учреждениях в помещениях для пребывания детей выключатели и розетки должны устанавливаться на высоте 1,8 м от пола.

Розетки в сети аварийного освещения устанавливать не допускается.

Розетки для присоединения переносных светильников следует предусматривать в помещениях, имеющих технологическое оборудование, для ремонта которого недостаточно общего освещения.

В ванных комнатах квартир, в умывальных, душевых, преддушевых общественных зданий допускается установка штепсельных розеток, присоединенных к сети через разделяющий трансформатор или защищенных устройством защитного отключения (УЗО) на ток до 30 мА.

Длина проводов ответвлений от групповых линий к электроустановочным изделиям для – утопленного монтажа и к светильникам должна применяться равной:

- для закладных коробок под розетки и выключатели – 50 мм плюс глубина коробок;
- для светильников с лампами накаливания – 100 мм от потолка;
- для светильников с люминесцентными лампами – 150 мм от потолка.

## 10. РАСЧЕТ СЕТИ ЭЛЕКТРООСВЕЩЕНИЯ

### *Расчет сечения жил и выбор проводов и кабелей*

Расчет электрической сети освещения заключается в определении сечения проводов и кабелей на всех участках групповой и питающей сети. Рассчитанное и выбранное сечение жил проводов и кабелей должно удовлетворять условиям механической прочности, нагревания, потерь напряжения, соответствию току выбранного аппарата защиты, условиям окружающей среды.

Действующие в настоящее время нормативные документы, разработанные на основе международного стандарта МЭК 364 «Электрические установки зданий», содержат ряд обязательных требований к выбору сечений нулевых рабочих (N), совмещенных нулевых рабочих и защитных (PEN) и защитных (PE) проводников. Правильный выбор этих проводников обеспечивает электрическую и пожарную безопасность электроустановок.

Для однофазных, а также трехфазных сетей при питании по ним однофазных нагрузок сечение нулевого рабочего N – проводника во всех случаях должно быть равно сечению фазных проводников, если те имеют сечение до  $16 \text{ мм}^2$  по меди или  $25 \text{ мм}^2$  по алюминию. При больших сечениях фазных проводников он может иметь сечение, составляющее не менее 50 % сечения фазных проводников.

Для однофазных линий групповой сети (сети до светильников, штепсельных розеток и других стационарных однофазных электроприемников) не допускается объединение N и PE – проводников с целью образования PEN-проводника. Такие линии всегда необходимо выполнять трехпроводными: фазным проводником L, нулевым рабочим N, и защитным PE. Кроме того, в однофазных линиях групповой сети не допускается:

объединять как нулевые рабочие проводники N, так и защитные PE различных групповых линий;

подключать нулевой рабочий проводник N и защитный PE на щитках под общий контактный зажим (на таких щитках должны быть выполнены отдельные шинки: N – изолированная и PE – неизолированная).

Сечение защитного PE – проводника должно равняться:

- сечению фазных проводников при сечении их до  $16 \text{ мм}^2$ ;
- $16 \text{ мм}^2$  при сечении фазных проводников от  $16$  до  $35 \text{ мм}^2$ ;

– не менее 50% сечения фазных проводников при больших сечениях проводников. Сечение нулевых защитных проводников, не входящих в состав кабеля, должны быть не менее  $2,5 \text{ мм}^2$  – при наличии механической защиты и  $4 \text{ мм}^2$  – при ее отсутствии.

### ***Выбор сечений проводов по механической прочности***

По механической прочности расчет проводов и кабелей внутренних электрических сетей не производится. В практике проектирования электрических сетей соблюдают установленные стандартом [4] минимальные сечения жил проводов по механической прочности. Наименьшие сечения проводов по механической прочности для медных жил не менее  $1,5 \text{ мм}^2$ , а для алюминиевых жил не менее  $2,5 \text{ мм}^2$ .

### ***Выбор сечений проводов по нагреву***

Электрический ток нагрузки, протекая по проводнику, нагревает его. Нормами приведенными в [1] установлены наибольшие допустимые температуры нагрева жил проводов и кабелей. Исходя, из этого определены длительно допустимые токовые нагрузки для проводов и кабелей в зависимости от материала их изоляции, оболочки и условий прокладки.

Сечения проводов и кабелей выбираются по условиям нагрева длительно расчетным током в нормальном режиме и проверяют по потере напряжения, соответствию току выбранного аппарата защиты, условиям окружающей среды.

Сечение жил проводов и кабелей для сети освещения можно определить по табл. 1.3 [1] в зависимости от расчетного длительного значения токовой нагрузки при нормальных условиях прокладки по условию

$$I_{\text{п}} \geq I_{\text{р}}/K_{\text{п}}, \quad (10.1)$$

где  $I_{\text{п}}$  – допустимый ток на стандартное сечение провода, а (длительно допустимые токовые нагрузки на провода и кабели;

$I_{\text{р}}$  – расчетное значение длительного тока нагрузки, А;

$K_{\text{п}}$  – поправочный коэффициент на условия прокладки определяется по табл. 10.1 (при нормальных условиях прокладки  $K_{\text{п}} = 1$ )

Таблица 10.1

**Поправочные коэффициенты на токовые нагрузки проводников  
в зависимости от температуры окружающей среды**

Проводники		Провода и кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией при прокладке	
		по воздуху	в земле
Расчетная температура среды, °С		25	15
Поправочные коэффициенты при фактической температуре среды, °С	-5	1,29	1,18
	0	1,24	1,14
	+5	1,20	1,10
	+10	1,15	1,05
	+15	1,11	1,00
	+20	1,05	0,95
	+25	1,00	0,89
	+30	0,94	0,84
	+35	0,88	0,77
	+40	0,81	0,71
	+45	0,74	0,63
+50	0,67	0,55	

Для выбора сечений проводов и кабелей по допустимому нагреву необходимо определить расчетные токовые нагрузки линий в амперах.

Расчетные максимальные токовые нагрузки определяют по формулам:

для однофазной сети

$$I_p = P_p / U_\phi \cdot \cos \varphi; \quad (10.2)$$

для трехфазной (четырёхпроводной) сети

$$I_p = P_p / \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi; \quad (10.3)$$

для двухфазной сети с нулем, при равномерной загрузке фаз

$$I_p = P_p / 2 \cdot U_\phi \cdot \cos \varphi. \quad (10.4)$$

Коэффициент мощности ( $\cos \varphi$ ) следует принимать:

1,0 – для ламп накаливания;

0,85 – для одноламповых светильников с люминесцентными лампами низкого давления;

0,92 – для много ламповых светильников с люминесцентными лампами низкого давления;

0,5 – для светильников с разрядными лампами высокого давления (ДРЛ, ДРИ);

0,85 – для светильников с разрядными лампами высокого давления, имеющими ПРА с конденсатором.

### **ПРИМЕР 1**

Рассчитать сечение жил и выбрать провода для прокладки групповой сети электроосвещения производственного участка с нормальными условиями окружающей среды. Электрическая сеть однофазная трехпроводная напряжением 220 В. Провода прокладываются открыто. Групповая линия состоит из ламп накаливания мощностью  $9 \times 200$  Вт. Коэффициент спроса освещения  $K_c = 1$ .

#### **РЕШЕНИЕ:**

Определим расчетную мощность

$$P_p = \sum P_{л};$$
$$P_p = 9 \times 200 = 1800 \text{ Вт}.$$

Определим расчетный ток

$$I_p = 1800/220 = 8,18 \text{ А}.$$

По механической порочности определено минимальное сечение жил проводов и составляет  $2,5 \text{ мм}^2$ .

Из табл. 1.3.5 [1] выбираем провод с алюминиевыми жилами сечением  $2,5 \text{ мм}^2$  имеющего длительно допустимый ток 20 А и подставим в условие 10.1.

$$20 \text{ А} > 8,18 \text{ А}.$$

Выбранное сечение удовлетворяет условию, следовательно, выбираем провод с алюминиевыми жилами марки АППВ  $3 \times 2,5 \text{ мм}^2$ .

#### **Расчет сети по потере напряжения**

Нормально допустимые значения установившегося отклонения напряжения  $\Delta U$  на выводах приемников электрической энергии должно быть равно  $\pm 5\%$  от номинального напряжения  $U_{ном}$  электрической сети.

Располагаемая (допустимая) потеря напряжения в осветительной сети, т.е. потеря напряжения в линии от источника питания (шин 0,4 кВ КТП) до последней лампы в ряду, подсчитывается по формуле

$$\Delta U_p = 105 - U_{min} - \Delta U_T, \quad (10.5)$$

где 105 – напряжение холостого хода на вторичной стороне трансформатора, %;

$U_{min}$  – наименьшее напряжение, допускаемое на зажимах источника света, % (принимается равным 95 %);

$\Delta U_T$  – потери напряжения в силовом трансформаторе, приведенные к вторичному номинальному напряжению и зависящие от мощности трансформатора, его загрузки  $\beta$  и коэффициента мощности нагрузки, %.

Потери напряжения в трансформаторе можно определить по табл. 10.2, или по выражению

$$\Delta U_T = \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_p \cdot \sin \varphi), \quad (10.6)$$

где  $\beta$  – коэффициент загрузки трансформатора;

$U_a$  и  $U_p$  – активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания трансформатора, которые определяются следующими выражениями:

$$U_a = P_k / P_{\text{ном}} \cdot 100; \quad (10.7)$$

$$U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2}, \quad (10.8)$$

где  $P_k$  – потери короткого замыкания, кВт;

$P_{\text{ном}}$  – номинальная мощность трансформатора, кВ·А;

$U_k$  – напряжение короткого замыкания, %.

Значения  $P_k$  и  $U_k$  можно определить по табл. 10.2, а более точные значения приводятся в каталогах на трансформаторы.

Таблица 10.2

### Потери напряжения в трансформаторах

Мощность трансформатора, кВ·А	Потери напряжения в трансформаторах $\Delta U_T$ , при различных значениях коэффициента мощности и коэффициенте загрузки $\beta = 1$ *					
	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
160	1,7	3,3	3,8	4,1	4,3	4,4
250	1,5	3,2	3,7	4,1	4,3	4,4
400	1,4	3,1	3,7	4,0	4,2	4,4
630	1,2	3,4	4,1	4,6	4,9	5,2
1000	1,1	3,3	4,1	4,6	5,0	5,2
1600, 2500	1,0	3,3	4,1	4,5	4,9	5,2

\* Для определения  $\Delta U_T$  его значение, найденное по таблице, следует умножить на фактическое значение коэффициента загрузки  $\beta$ .

Таблица 10.3

Значения  $P_k$  и  $U_k$ 

Мощность трансформатора, кВ·А		160	250	400	630	1000	1600	2500
Потери, кВт	$P_{xx}$	0,73	1,05	1,45	2,27	3,3	4,5	6,2
	$P_k$	2,65	3,7	5,5	7,6	11,6	16,5	23,5
Напряжение, $U_k, \%$		4,5	4,5	4,5	5,5	5,5	5,5	5,5

Потери напряжения при заданном значении сечения проводов можно определить по выражению

$$\Delta U = M/C \cdot S. \quad (10.9)$$

И, наоборот, при заданном значении потери напряжения можно определить сечение провода

$$S = M/C \cdot \Delta U, \quad (10.10)$$

где  $M$  – момент нагрузки, кВт·м;

$C$  – коэффициент, зависящий от материала провода и напряжения сети (определяется по табл. 10.4).

Таблица 10.4

Значение коэффициента  $C$ 

Номинальное напряжение сети, В	Система сети, род тока	Коэффициент $C$ проводов	
		медные	алюминиевых
380/220	Трёхфазная с нулем	72,4	44
380/220	Двухфазная с нулем	32,1	19,6
220	Однофазная с нулем	12,1	7,4
42	Двухпроводная, переменного и постоянного тока	0,4	0,244
24		0,324	0,198
12		0,036	0,022

Метод определения момента нагрузки выбирается в зависимости от конфигурации сети освещения:

в простом случае (рис. 10.1) момент определяется как произведение мощности ламп на длину участка сети

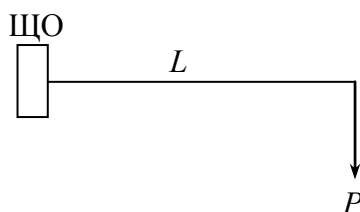


Рис. 10.1. Определение момента в простом случае



$$M = P_p \cdot L; \quad (10.11)$$

в проектной практике осветительная сеть имеет более сложную конфигурацию (рис. 10.2), тогда момент нагрузки можно определить по выражению

$$\begin{aligned} M &= P_1 \cdot L + P_2 \cdot (L + L_1) + P_3 \cdot (L + L_1 + L_2) = \\ &= L \cdot (P_1 + P_2 + P_3) + L_1 \cdot (P_2 + P_3) + L_2 \cdot P_3 \end{aligned} \quad (10.12)$$

для сети с равномерно распределенной нагрузкой момент нагрузки определяется, как произведение мощности ламп на половину длины групповой линии.

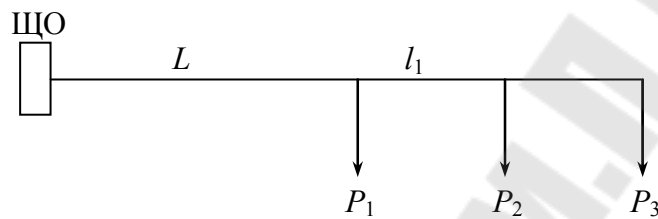


Рис. 10.2. Определение момента сети сложной конфигурации

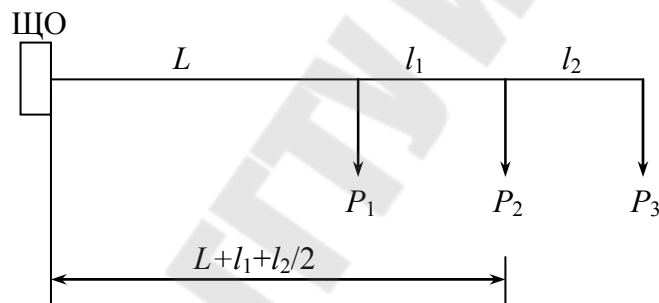


Рис. 10.3. Определение момента для сети с равномерно распределенной нагрузкой

$$M = \sum P_p \cdot L + (L_1 + L_2)/2, \quad (10.13)$$

где  $L$  – длина участка сети от группового щитка до первого светильника в ряду, м.

Для сети более сложной конфигурации, когда участки сети имеют разное количество фазных проводов, определяется приведенный момент по выражению

$$M_{пр} = \sum M + \alpha \sum m, \quad (10.14)$$

где  $\sum M$  – сумма моментов данного и всех последующих по направлению тока участков с тем же числом проводов в линии, что и на данном участке;

$\sum m$  – сумма моментов питаемых через данный участок линии с иным числом проводов, чем на данном участке;  
 $\alpha$  – коэффициент приведения моментов (определяется по табл. 10.5)

Таблица 10.5

**Значение коэффициентов приведения моментов**

Линия	Ответвление	Коэффициент приведения моментов, $\alpha$
Трехфазное с нулем	Однофазное	1,85
Трехфазное с нулем	Двухфазное с нулем	1,39
Двухфазное с нулем	Однофазное	1,33
Трехфазная без нуля	Двухпроводное	1,15

Расчет сети на наименьший расход проводникового материала ведется по формуле

$$S = \sum M + \alpha \sum m / C \cdot \Delta U_p, \quad (10.15)$$

где  $\Delta U_p$  – расчетные потери напряжения, %, допустимые от начала данного участка до конца сети.

По формуле 10.9 последовательно определяются сечения на всех участках сети освещения, начиная от участка ближайшего к источнику питания и округляются до ближайшего большего значения стандартного ряда. По выбранному сечению данного участка определяются потери напряжения в нем. Последующие участки сети рассчитываются по разности между расчетной потерей напряжения и потерями до начала каждого участка.

**ПРИМЕР 2**

Определить момент нагрузки для групповой сети электроосвещения (рис. 10.4) и выбрать сечение проводов, при условии, что допустимая потеря напряжения ( $\Delta U_p$ ) для группового щитка ЩО равна 2,5 %.

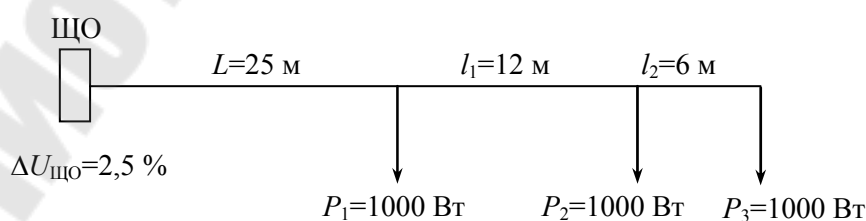


Рис. 10.4. Рисунок к задаче 2

**РЕШЕНИЕ:** Определим момент нагрузки по формуле 10.12.

$$M = 25 \cdot (1000 + 1000 + 1000) + 12 \cdot (1000 + 1000) + 6 \cdot 1000 = \\ = (75 + 24 + 6) \cdot 1000 = 105 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

Определим сечение провода по формуле 10.10.

$$S = 105/44 \cdot 2,5 = 0,95 \text{ мм}^2.$$

Ближайшее большее стандартное сечение провода  $2,5 \text{ мм}^2$ , следовательно для подключения ряда светильников удовлетворяет четырехжильный кабель сечением  $4 \times 2,5 \text{ мм}^2$ .

### ПРИМЕР 3

Определить сечение жил кабелей на участках от КТП до МЩ1 и от МЩ1 до ЩО1 (рис. 10.5). Мощность трансформатора КТП 250 кВ·А, коэффициент загрузки 0,8.

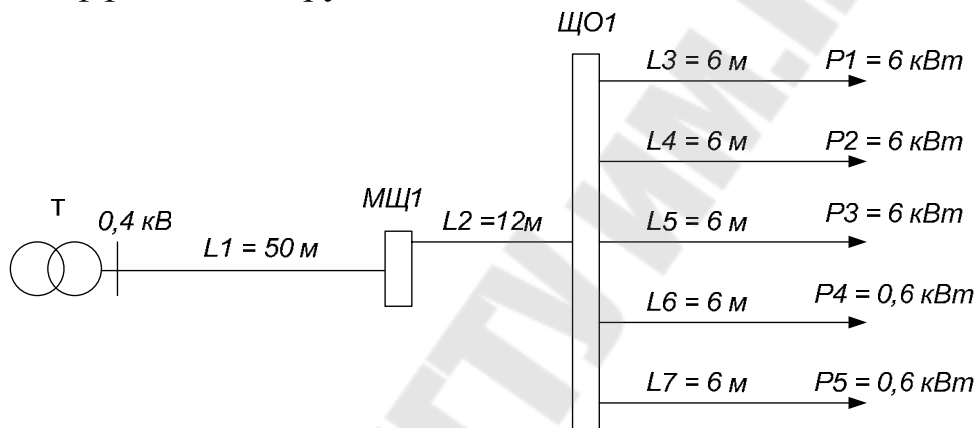


Рис. 10.4. Рисунок к задаче 3

### РЕШЕНИЕ:

Определим потери напряжения в трансформаторе по табл. 5.1  $\Delta U_{\text{т}} = 3,7 \%$ .

Располагаемую допустимую потерю напряжения определим по формуле 5.7

$$\Delta U_{\text{р}} = 105 - 95 - 3,7 = 6,3 \%$$

Определим момент нагрузки  $M_1$  и  $M_2$ :

$$M_1 = L_1 \cdot P_{1-5} = 50 \cdot 19,2 = 960 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$M_2 = L_2 \cdot P_{1-5} = 12 \cdot 19,2 = 230,4 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

Приведенный момент

$$M_{\text{пр}L1} = M_1 + M_2 + \alpha(m_6 + m_7) = \\ = 960 + 230,4 + 1,85 \cdot (3,6 + 3,6) = 1203,7 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

Определить сечение жил кабеля на участке  $L_1$ :

$$S = 1203,4/44 \cdot 6,3 = 4,34 \text{ мм}^2.$$

Принимаем сечение кабеля от трансформатора КТП до МЩ сечением  $5 \times 10 \text{ мм}^2$ .

Фактическая потеря напряжения на участке  $L_1$  составит

$$\Delta U_{\phi} = 1203,7/44 \cdot 10 = 2,7 \%.$$

Располагаемые потери напряжения для последующего участка сети от МЩ1 до ЩО1 составят

$$\Delta U = 6,3 - 2,7 = 3,6 \%.$$

Для определения сечения жил кабеля на втором участке  $L_2$  определим приведенный момент  $M_{\text{пр}L_2}$ :

$$M_{\text{пр}L_2} = 230,4 + 1,85 \cdot 7,2 = 243,72 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$S = 243,72/44 \cdot 3,6 = 1,5 \text{ мм}^2.$$

Выбираем кабель сечением  $4 \times 6 \text{ мм}^2$ :

$$\Delta U_{\phi} = 243,72/44 \cdot 6 = 0,9 \%.$$

Располагаемая потеря напряжения для групповой сети составляет

$$\Delta U = 3,6 - 0,9 = 2,7 \%.$$

### ***Защита сети освещения и выбор аппаратов защиты***

Осветительные сети должны иметь защиту от токов короткого замыкания (КЗ), а в некоторых случаях также от перегрузки [1].

Защите от перегрузки подлежат сети: внутри помещений, проложенных открыто незащищенными изолированными проводниками и с горючей оболочкой; внутри помещений, проложенных защищенными проводниками в трубах, в несгораемых строительных конструкциях и т. п.; осветительные в жилых, общественных и торговых помещениях, служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, включая сети для бытовых и переносных электроприемников, а также в пожароопасных производственных помещениях; всех видов во взрывоопасных наружных установках независимо от условий технологического процесса или режима работы сети.

Все остальные сети не требуют защиты от перегрузки и защищаются только от токов короткого замыкания.

Аппараты, установленные для защиты от коротких замыканий и перегрузки, должны быть выбраны так, чтобы номинальный ток каждого из них  $I_{\text{ном з.а.}}$  был не менее расчетного тока  $I_p$ , рассматриваемого участка сети:

$$I_{\text{ном з.а.}} \geq I_p, \quad (10.16)$$

где  $I_p$  – расчетный ток рассматриваемого участка сети, А.

Осуществляется защита осветительных сетей аппаратами защиты – плавкими предохранителями или автоматическими выключателями, которые отключают защищаемую электрическую сеть при ненормальных режимах.

Для защиты осветительных сетей промышленных, общественных, жилых этажных зданий наибольшее распространение получили однополюсные и трехполюсные автоматические выключатели с расцепителями, имеющих обратно зависимую от тока характеристику, у которых с возрастанием тока время отключения уменьшается.

Автоматические выключатели, имеющие только электромагнитный расцепитель мгновенного действия (отсечку), во внутренних сетях общественных и жилых зданий применять, как правило, не следует.

Аппараты защиты, защищающие электрическую сеть от токов КЗ должны обеспечивать отключение аварийного участка с наименьшим временем с соблюдением требований селективности. Для обеспечения селективности защит участков электрической сети номинальные токи аппаратов защиты (ток плавких вставок предохранителей или токи уставок автоматических выключателей) каждого последующего по направлению к источнику питания следует принимать выше не менее чем на две ступени, чем предыдущего, если это не приводит к завышению проводов. Разница не менее чем на одну ступень обязательна при всех случаях.

Номинальные токи уставок автоматических выключателей и плавких вставок предохранителей следует выбирать по возможности наименьшими по расчетным токам защищаемых участков сети, при этом должно соблюдаться соотношение между наибольшими допустимыми токами проводов  $I_{\text{п}}$  и номинальными токами аппаратов защиты  $I_3$  табл. 10.6.

$$I_{\text{п}} \geq K_3 \cdot I_3 / K_{\text{п}}, \quad (10.17)$$

где  $K_3$  – кратность защиты (кратность длительно допустимого тока для проводов или кабелей по отношению к току срабатывания защитного аппарата, определяется по табл. 10.6);

$I_3 = I_{\text{ном пл.вст.}}$ , если линия защищается предохранителями;

$I_3 = I_{\text{ном з.а.}}$ , если линия защищается автоматическим выключателем.

Таблица 10.6

**Соотношение между длительно допустимыми токами проводов  $I_{\text{п}}$  и номинальными токами аппаратов защиты  $I_{\text{з}}$  и значение кратности защиты  $K_{\text{з}}$**

Помещения, здания	Тип провода при любом способе прокладки	Длительно допустимый ток провода $I_{\text{п}}$ при аппарате защиты		
		Предохранители	Автоматы с обратной зависимой от тока характеристикой	
			Нерегулируемый расцепитель	Регулируемый расцепитель
<b>Сети, не защищаемые от перегрузки</b>				
Всех назначений	Всех типов	$I_{\text{п}} \geq 0,33 \cdot I_{\text{з}}$ $K_{\text{з}} = 0,33$	$I_{\text{п}} \geq I_{\text{з}}$ $K_{\text{з}} = 1$	$I_{\text{п}} \geq 0,8 \cdot I_{\text{з}}$ $K_{\text{з}} = 1$
<b>Сети, защищаемые от перегрузки</b>				
Производственные	Открыто проложенные, с горючей наружной оболочкой или изоляцией	$I_{\text{п}} \geq I_{\text{з}}$ $K_{\text{з}} = 1$	$I_{\text{п}} \geq I_{\text{з}}$ $K_{\text{з}} = 1$	$I_{\text{п}} \geq I_{\text{з}}$ $K_{\text{з}} = 1$
Общественные и жилые, торговые, служебно-бытовые промышленных предприятий, в том числе для бытовых и переносных электроприемников	С ПВХ, резиновой или аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией	$I_{\text{п}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{з}}$ $K_{\text{з}} = 1,25$	$I_{\text{п}} \geq I_{\text{з}}$ $K_{\text{з}} = 1$	$I_{\text{п}} \geq I_{\text{з}}$ $K_{\text{з}} = 1$
Пожароопасные	Всех типов	$I_{\text{п}} \geq I_{\text{з}}$ $K_{\text{з}} = 1$	$I_{\text{п}} \geq I_{\text{з}}$ $K_{\text{з}} = 1$	$I_{\text{п}} \geq I_{\text{з}}$ $K_{\text{з}} = 1$
Взрывоопасные	Всех типов	$I_{\text{п}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{з}}$ $K_{\text{з}} = 1,25$	$I_{\text{п}} \geq I_{\text{з}}$ $K_{\text{з}} = 1$	$I_{\text{п}} \geq I_{\text{з}}$ $K_{\text{з}} = 1$

Устанавливаются аппараты защиты плавкие предохранители и автоматические выключатели в металлических щитках, которые следует устанавливать: в местах присоединения сети к источнику питания (распределительные щиты КТП, вводно-распределительные устройства, распределительные пункты, магистральные шинопроводы); на вводах в здания; в начале каждой групповой линии; в местах уменьшения сечения проводов по направлению к электроприемникам; со стороны высшего напряжения понижающих трансформаторов; со стороны низшего напряжения понижающих трансформаторов.

Аппараты защиты должны устанавливаться в цепи следующих проводов: при защите сетей предохранителями они должны устанавливаться во всех нормально незаземленных полюсах или фазах (установка предохранителей в нулевом рабочем проводе запрещена); при защите сетей с глухозаземленной нейтралью автоматическими выключателями их расцепители должны устанавливаться во всех нормально незаземленных проводах; в однофазных двухпроводных линиях во взрывоопасных зонах класса В-1 расцепители автоматических выключателей должны устанавливаться в цепи фазного и нулевого рабочих проводов, при этом для одновременного отключения фазного и нулевого проводов должны применяться двухполюсные автоматические выключатели,

Номинальный ток аппаратов защиты (расцепители автоматических выключателей и плавкие вставки предохранителей) для групповых линий внутреннего освещения должен быть не более 25 А, а групповые линии, питающие разрядные лампы мощностью 125 Вт и более, лампы накаливания на напряжение до 42 В любой мощности и лампы накаливания на напряжение выше 42 В мощностью 500 Вт и более могут защищаться аппаратами защиты на ток до 63 А.

#### **ПРИМЕР 4**

Для примера 1 выбранное сечение провода марки АППВ  $3 \times 2,5 \text{ мм}^2$ , имеющего ток длительно допустимый 20 А проверить по току срабатывания защитного аппарата.

#### **РЕШЕНИЕ:**

По техническим данным на аппараты защиты выбираем автоматический выключатель серии ВА с номинальным током расцепителя 16 А. Так как участок сети не требуется защищать от перегрузки и провод проложен в нормальных условиях, то кратность защиты  $K_3 = 1$  и поправочный коэффициент  $K_n = 1$ , тогда подставив значения дли-

тельно допустимого тока провода и номинальный ток расцепителя автоматического выключателя в условии 10.17 получим  $20 \text{ A} > 16 \text{ A}$ .

Условие соблюдается, следовательно, выбираем однополюсный автоматический выключатель серии ВА51-29 63/16 А.

После выполнения светотехнической и электрической частей расчета электрического освещения составляется сводная таблица по представленной форме.

Таблица 10.7

### Форма сводной ведомости

Номер и тип щитка	Тип автомата, $I_{\text{ном.расц}}$ , А	Номер группы	Нагрузка			Марка и сечение провода (кабеля)	Способ прокладки	Момент, кВт·м	Потеря напряжения, $\Delta U$ %	Распределение по фазам
			$P_{\text{расч}}$ , Вт	$I_{\text{расч}}$ , А	$\cos \varphi$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

В таблице указывается: номер и тип осветительного щитка; тип и номинальные токи расцепителей вводного и групповых автоматических выключателей; номер группы; нагрузка групповой линии; марка и сечение проводов, кабелей; способ прокладки; момент нагрузки; потеря напряжения в линии; распределение групповых линий по фазам трехфазной сети



## 11. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Проектирование осветительных установок заключается в разработке светотехнической и электрической частей проекта.

В светотехнической части рабочего проекта производится выбор значений освещенности, систем и видов освещения, типов источников света и осветительных приборов, выполняются светотехнические расчеты, в результате которых определяются тип, мощность и расположение светильников.

В электрической части рабочего проекта выбираются источники питания, решаются (при необходимости) вопросы компенсации реактивной мощности для установок с ртутными лампами, намечаются способы управления освещением, выбираются типы магистральных и групповых щитков и другого электрооборудования.

Исходными данными для проектирования осветительной установки являются: перечень объектов строительства с указанием их основного назначения; архитектурно-строительные планы и разрезы помещений; краткая строительная характеристика здания (количество этажей, длина, ширина и высота помещений); сведения о характере среды в помещениях; данные об особенностях технологического процесса и знание других требований, влияющих на устройство освещения.

В рабочем проекте разрабатываются рабочие чертежи освещения, состав и правила, оформления которых регламентируются стандартами «Системы проектной документации для строительства» [7].

В состав основного комплекта рабочих чертежей марки ЭО включают:

- общие данные к рабочим чертежам;
- планы расположения электрического оборудования и прокладки электрических сетей;
- принципиальные схемы питающей сети;
- принципиальные схемы дистанционного управления освещением;
- схемы подключения комплектных распределительных устройств на напряжение до 1 кВ;
- кабельный журнал для питающей сети.

### *Планы расположения*

Планы расположения выполняют с учетом требований [8].

В качестве подосновы для планов расположения, как правило, следует принимать планы помещений, выполненные в основных комплектах рабочих чертежей других марок. Масштаб этих планов должен обеспечивать четкое графическое изображение электрических сетей и электрического оборудования.

На планах расположения наносят и указывают:

- строительные конструкции и технологическое оборудование в виде упрощенных контурных очертаний сплошными тонкими линиями;
- наименования помещений (допускается наименования помещений приводить в экспликации помещений по форме 1 (рис. 11.1));
- классы взрывоопасных и пожароопасных зон, категорию и группу взрывоопасных смесей для взрывоопасных зон по правилам устройства электроустановок;
- нормируемую освещенность от общего освещения; количество, тип светильников;
- количество и мощность ламп в светильнике;
- высоту установки светильников;
- привязочные размеры для светильников или рядов светильников к элементам строительных конструкций или координационным осям здания;
- комплектные распределительные устройства на напряжение до 1 кВ, относящиеся к питающей сети (распределительные щиты, щиты станций управления, распределительные пункты, ящики и шкафы управления, вводно-распределительные устройства) и их обозначения;
  - групповые щитки и их обозначения;
  - понижающие трансформаторы;
  - выключатели, штепсельные розетки;
  - линии питающей и групповой сети и сети управления освещением, их обозначения, сечение и, при необходимости марку и способ прокладки;
  - другое электрическое оборудование, относящееся к внутреннему освещению.

## Форма 1

### Экспликация помещений

20	Номер по плану	Наименование
	10	80

Рис 11.1. Форма таблицы экспликация помещений

При большом числе линий питающей сети, групповой сети и сети управления освещением, указанные сети и относящееся к ним электрическое оборудование допускается изображать на отдельных листах и в разных масштабах.

На листах планов расположения приводят данные о групповых щитках по форме 2 (рис. 11.2).

## Форма 2

### Данные о групповых щитках с автоматическими выключателями

Номер щитка	Тип	Установленная мощность, кВт	Номера автоматических выключателей				Ток расцепителя, А	
			Однополюсные		Трёхполюсные		на вводе	на линиях
			занятые	резерв.	занятые	резерв.		
15	40	20	15	15	15	15	15	15

Рис. 11.2. Форм таблицы данных о групповых щитках

Пример оформления плана расположения электрооборудования приведен на рис. 11.3.

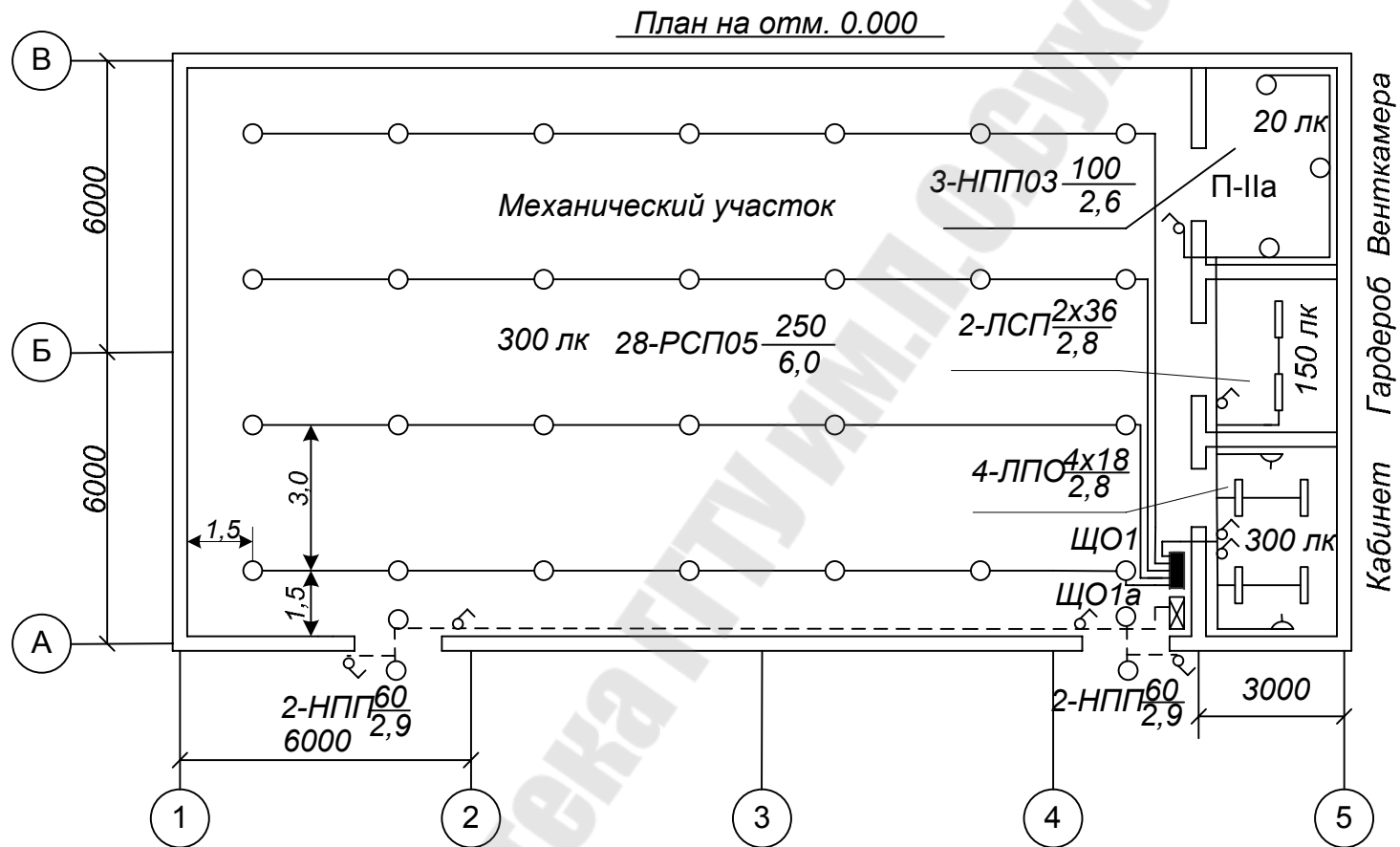


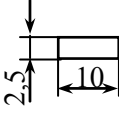
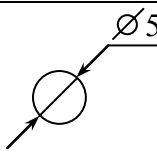
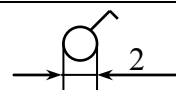
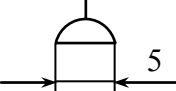
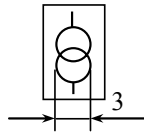
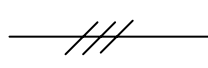
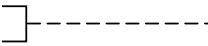


Рис. 11.3. План расположения электрооборудования и прокладки электрических сетей электроосвещения

Условные графические обозначения на планах расположения электрического оборудования внутреннего освещения и рекомендуемые размеры условных графических обозначений приведены в таблице 11.1.

Таблица 11.1

**Порядок записи условных обозначений на планах расположения оборудования внутреннего освещения**

Наименование		Обозначение
1.	Нормируемая освещенность	300 лк
2.	Обозначение классов взрыво- и пожароопасных зон по ПУЭ	 
3.	Сведение о светильниках: для одноламповых светильников  для двух и многоламповых светильников	28 – РСП 05 $\frac{250}{6,0}$ 6 – ЛПО 02 $\frac{2 \times 36}{2,8}$
4.	Светильник с люминесцентной лампой	
5.	Светильник с лампой накаливания, ДРЛ, ДРИ, ДНаТ	
6.	Выключатель однополюсный	
7.	Розетка штепсельная двухполюсная	
8.	Ящик с понижающим трансформатором	
9.	Количество проводов в линии (например три) Примечание. На двухпроводных линиях черточки не показываются	
10.	Трос и концевое крепление троса	
11.	Надписи на линиях групповой сети: <i>a</i> – номер группы; <i>b</i> – марка, количество и сечение проводов; <i>v</i> – способ прокладки	<i>a – b – v</i>

**Принципиальные схемы питающей сети**

Принципиальные схемы питающей сети выполняют в однолинейном изображении в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД на правила выполнения электрических схем.

Форма, размеры таблицы и пример оформления принципиальной схемы питающей сети приведен на рис. 11.4.

### Форма 3

Пример выполнения схемы питающей сети

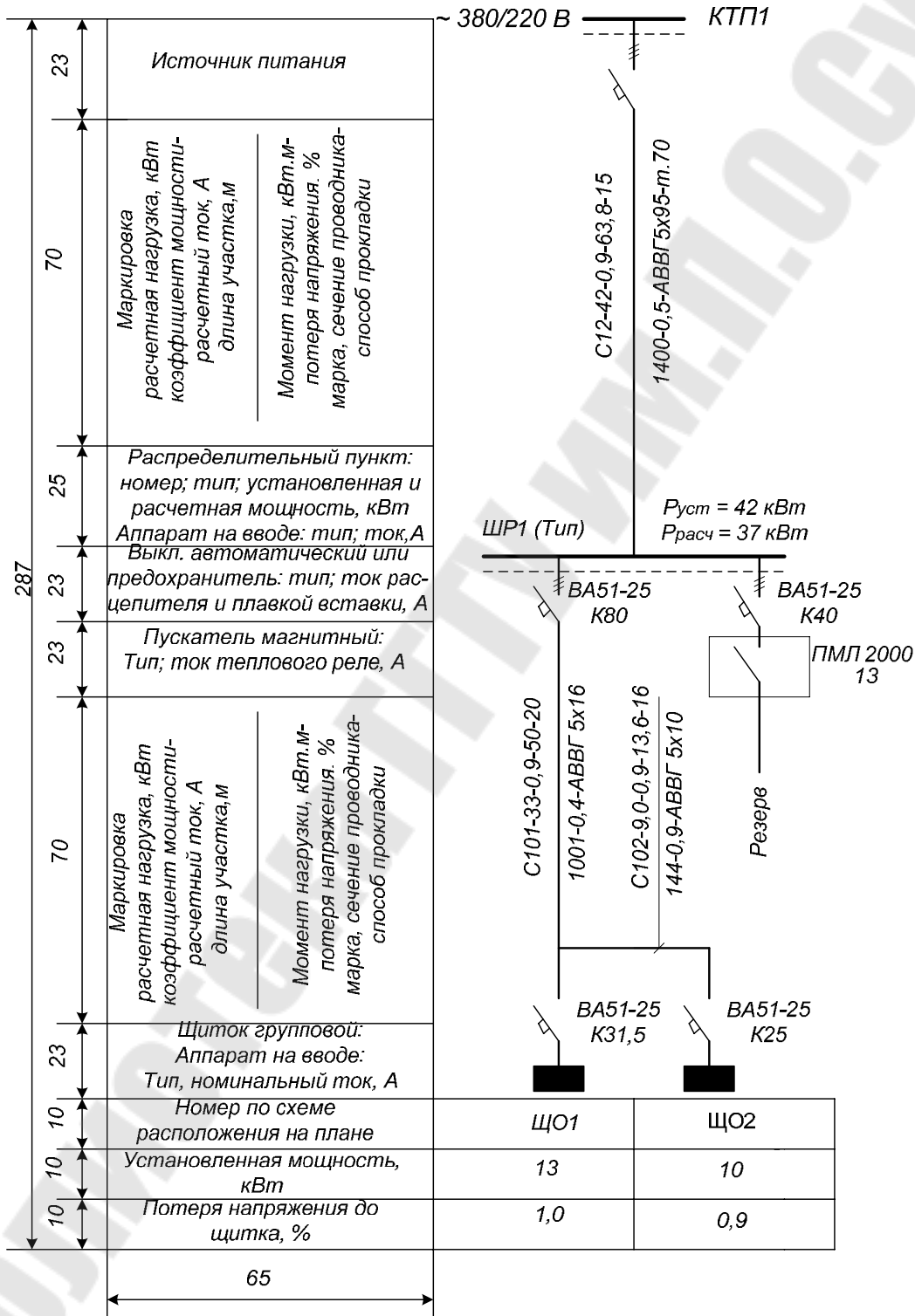


Рис. 11.4. Пример выполнения схемы питающей сети

## **Проектирование электрического освещения животноводческих помещений**

При проектировании искусственного освещения должны быть обеспечены:

- нормированные значения освещенности искусственного освещения;
- необходимая продолжительность освещения;
- нормированные значения коэффициента естественной освещенности (к.е.о.) в зоне расположения животных;
- защита животных и людей от слепящего действия источников света;
- экономичность сооружения;
- удобство и безопасность эксплуатации установок освещения;
- пожарная безопасность.

### **Требования к освещенности и качеству освещения**

Норма освещенности помещений, предназначенных для выращивания и содержания телят, поросят-сосунов и отъемышей, ремонтного молодняка, свиноматок и производителей (быков или хряков), согласно требованиям «отраслевых норм освещения определяется с учетом обеспечения животных естественным светом.

В зоне размещения этих животных с недостаточным по нормам естественным светом следует повышать освещенность на одну ступень по шкале освещенности 30, 40, 50, 65, 75, 100, 125, 150 лк.

При проектировании искусственного освещения границы зоны с недостаточным по нормам естественным светом следует определять согласно табл. 11.2.

При расчетах искусственного освещения следует вводить коэффициент запаса  $K_3$ , учитывающий старение источника света, загрязнение элементов светильника, снижение отражающих свойств отражающих поверхностей помещения.

Для всех животноводческих помещений в расчетах следует принимать коэффициент запаса для трубчатых люминесцентных ламп  $K_3 = 1,3$ , для ламп накаливания  $K_3 = 1,15$ .

При проектировании освещения коровников, в которых доение производится в стойлах, согласно требованиям «Отраслевых норм» необходимо предусматривать дополнительные светильники для повышения освещенности на время доения до 150 лк.

Светильники дежурного освещения необходимо выделять из числа светильников общего освещения. В коровниках и свинарниках дежурное освещение должно составлять 15 % от общего освещения.

Светильники дежурного освещения следует равномерно распределять по проходам животноводческого помещения.

Ослепленность животных и людей ограничивается высотой подвеса светильников на полом помещения. Допускается использование люминесцентных ламп при высоте помещения 3 м и менее мощностью до 80 Вт.

Таблица 11.2

**Границы зоны с недостаточным естественным светом при двустороннем освещении**

Граница помещения, В, м	Высота светового проема, м	Расстояние от наружной стены до границы зоны с недостаточным по нормам естественным светом, м, при боковом двустороннем освещении для значений к.е.о., %		
		0,4	0,5	0,7
5	0,6	-	-	-
9	0,6	7	6	5
	0,8	-	8,5	7
	1,2	-	-	-
10,5	0,6	8	7	6
	0,9	-	9,6	8
	1,2	-	-	8,5
13,5	0,9	8	6	4,5
	1,2	-	11	9,5
	1,5	-	-	10,5

Таблица 11.3

**Границы с недостаточным естественным светом при одностороннем освещении**

Высота светового проема, м	Расстояние от наружной стены до границы зоны с недостаточным по нормам естественным светом, м, при боковом одностороннем освещении для значений к.е.о., %		
	0,4	0,5	0,7
0,6	5,5	5	4
0,9	8,5	7	5
1,2	9	8	6
1,5	11,5	10	8,5
2,4	14	12	10



### ***Требования к источникам света***

Выбор источников света основывается исходя из эффективности их биологического воздействия на организм животного, световой отдачи, срока службы и т.д.

Для освещения основных животноводческих помещений следует принимать, как правило, люминесцентные лампы низкого давления типа ЛБ. Не допускается применение разрядных ламп в установках:

– питаемых или переключаемых на питание от сети постоянного тока, в которых напряжение сети снижается до 90 % и менее от номинального;

– в помещениях с температурой воздуха менее плюс 5°С.

Применение ламп накаливания для освещения животноводческих помещений допускается только при соответствующих технико-экономических обоснованиях.

Лампы накаливания следует применять для освещения отдельных вспомогательных помещений, периодически посещаемых персоналом, например инвентарной, помещения для моющих средств, фуражной и т.д.

### ***Выбор типа светильников***

В основных животноводческих помещениях следует принимать светильники имеющие соответствующую степень защиты и стойкие к химически активной и к влажной среде, характеризующиеся, как правило, косинусной кривой силы света имеющие стартерную схему зажигания с электромагнитными пускорегулирующими аппаратами (ПРА), а также с электронными ЭПРА.

При выборе типа светильников следует учитывать условия окружающей среды, где будут установлены светильники. В неотопляемых помещениях следует устанавливать светильники с лампами, устойчивая работа которых будет и при низких температурах.

### ***Расчет освещения***

Для освещения животноводческих помещений, как правило, используется система общего локализованного освещения с расположением светильников рядами. В отдельных случаях допускается применять систему общего равномерного освещения.

Для определения параметров осветительной установки (расстояния между светильниками, расстояния между рядами светильников, средней удельной мощности) животноводческих помещений с целью упрощения светотехнических расчетов рекомендуется пользоваться таб. 11.2.

Таблица 11.2 предназначена для определения параметров осветительной установки при системе общего локализованного освещения.

Порядок расчета параметров осветительной установки с использованием табл. 11.2 и 11.3 следующий:

– согласно норм для данного вида животных с учетом их возраста и направления продуктивности (мясное, молочное) определяется норма минимальной освещенности  $E_{\min}$ . Если помещение предназначено для выращивания телят, поросят-сосунов и отъемышей, ремонтного молодняка, производителей (быков, хряков) и свиноматок, то выделяются зоны с недостаточным по норме естественным светом, в которых размещены животные.

Норма освещенности в зонах с недостаточным естественным светом повышается на одну ступень по шкале освещенности 30, 50, 75, 100, 125, 150 лк;

– выбирается тип светильников по каталогам;

– определяется высота подвеса; намечается расположение рядов светильников в зависимости от размеров помещения, размещения животных и оборудования в нем.

Рекомендуемое значение

$$L_{\text{в}}/H_{\text{п}} = 1,6,$$

где  $L_{\text{в}}$  – расстояние между рядами светильников;

$H_{\text{п}}$  – высота подвеса светильников над полом;

Определяется площадь помещения  $S$ .

По исходным данным, согласно табл. 11.2, определяется расстояние между светильниками в ряду, средняя удельная мощность, находится число светильников в ряду, которое при необходимости корректируется, определяется количество светильников, необходимое для освещения помещения.

Расчеты в таблице выполнены для высоты подвеса светильников над полом 3 м при коэффициентах отражения потолка, стен и пола, соответственно равных  $\rho_{\text{п}} = 50\%$ ,  $\rho_{\text{с}} = 30\%$ ,  $\rho_{\text{пола}} = 10\%$ .

В ответственных случаях производится проверочный расчет освещенности в контрольных точках.

Окончательный выбор параметров осветительной установки производится по минимуму приведенных затрат.

## 12. УПРАВЛЕНИЕ ОСВЕЩЕНИЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Управление электрическим освещением административных, общественных, жилых зданий производится выключателями общего назначения.

Управление электрическим освещением в производственных помещениях осуществляется автоматическими выключателями, установленными в групповых щитках. Включение и отключение светильников производится рядами в зависимости от уровня естественной освещенности в помещении.

### *Дистанционное управление освещением*

Для дистанционного управления электрическим освещением производственных цехов и участков, имеющих большие пролеты применяются пульты управления, схема которого представлена на рис. 12.1.

Пульты ПУ-Ин1 могут применяться совместно с осветительными щитками и могут управлять шестью трехфазными или однофазными линиями.

Напряжение питания пульта управления 220 В переменного тока.

Пульт имеет изолированную нулевую (N) и связанную с корпусом защитную (PE) шины, что позволяет применять их в трех-пятипроводной системе электроснабжения.

Пульт состоит из вводного автоматического выключателя QF1, шести выключателей с фиксированным положением типа «ТУМБЛЕР» и семи комплектов с сигнальной арматурой на светодиодных излучателях.

Для дистанционного включения и выключения групповых линий освещения требуется дополнительно к пульту управления применить электромагнитные пускатели, которые своими главными контактами и будут производить включение или отключение групповых линий. Пульт управления может быть установлен в помещении диспетчера или в другом помещении с дежурным персоналом цеха или участка, а электромагнитные пускатели непосредственно у осветительного группового щитка.

Работает схема следующим образом.

Включением автоматического выключателя QF1 (рис. 12.1) подается напряжение на цепи управления и сигнализации. При этом получает питание светодиодный излучатель VD8, сигнализируя о пода-

че напряжения «Напряжение ВКЛЮЧЕНО». При необходимости включения групповых линий – включаются в ручном режиме выключатели SB1...SB6 дежурным персоналом цеха. После чего включаются электромагнитные пускатели, которые включают групповые линии освещения. Катушки электромагнитных пускателей подключаются к выводам XT11...XT16 пульта дистанционного управления. Отключение производится этими же выключателями SB1...SB6. Включенное состояние групповых линий освещения сигнализируют светодиодные излучатели VD9...VD14.

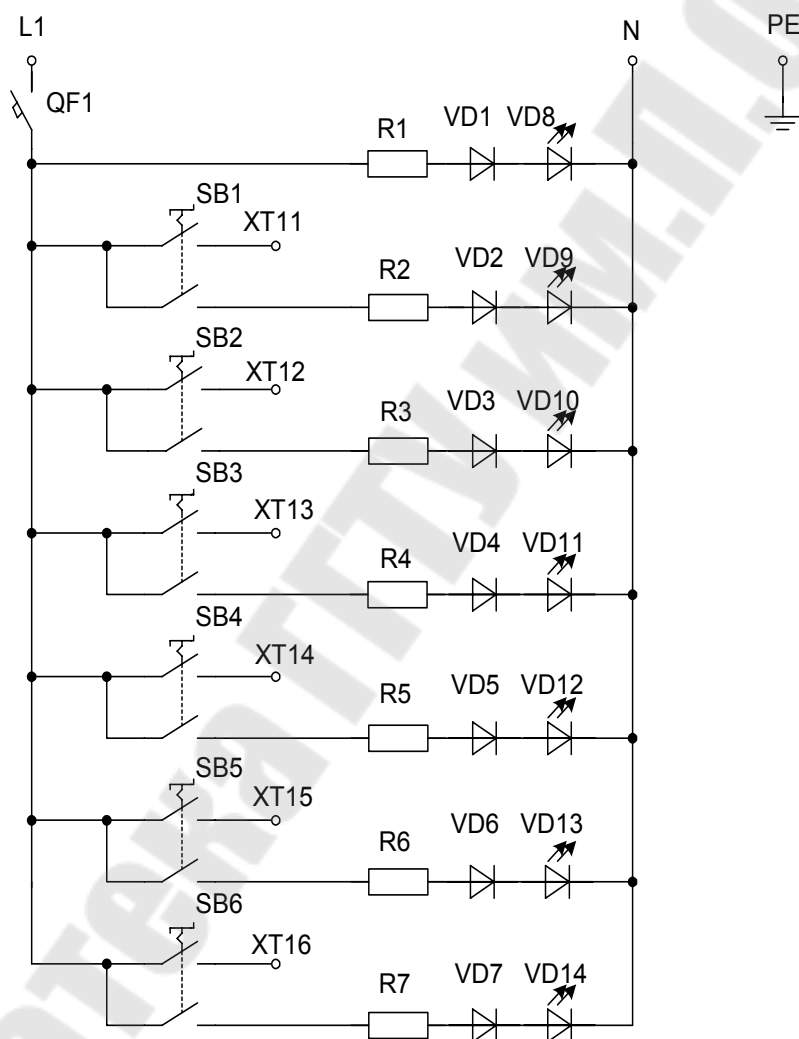


Рис. 12.1. Схема электрическая принципиальная пульта дистанционного управления ПУ-Ин1

Освещение производственных цехов и участков производится светильниками с мощными источниками света – лампами ДРЛ, ДРИ, ДНаТ мощностью 250, 400, 700, 1000 Вт, то питание групповых линий осуществляется по трехфазной системе напряжения с чередованием подключения светильников по фазам L1, L2, L3. В этом случае

целесообразно будет применить предлагаемую схему (рис. 12.2) включения двух пускателей на одну трехфазную групповую линию. Тогда электромагнитным пускателем КМ1 производится управление светильниками, подключенными к фазам L1 и L2, а пускателем КМ2 – светильниками, подключенными к фазе L3. При одновременном включении пускателей КМ1 и КМ2 включаются все светильники групповой линии. Это позволит более гибко управлять групповыми линиями освещения.

Комбинация «включения – отключения» групповых линий в зависимости от уровня освещенности в помещении позволит существенно снизить электропотребление на электрическое освещение помещений производственных и других зданий.

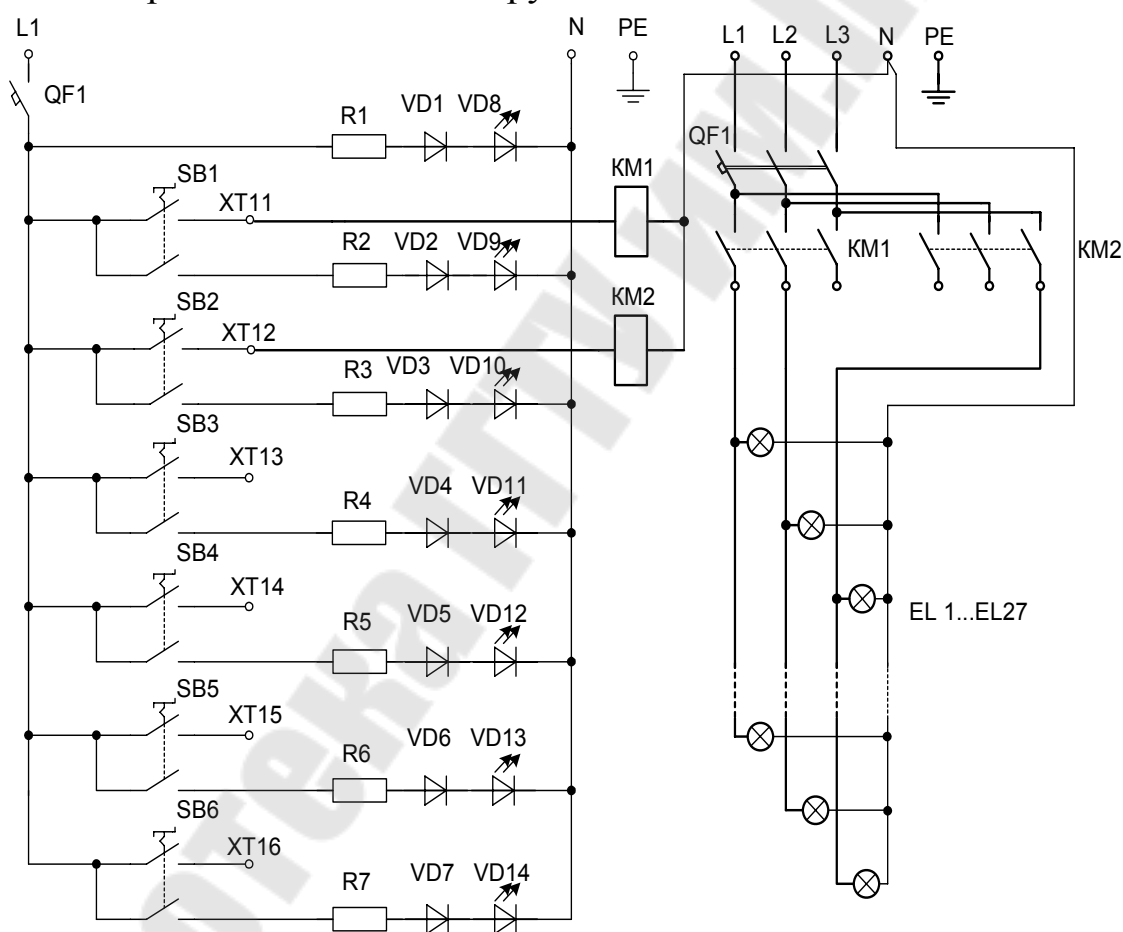


Рис. 12.2. Фрагмент схемы электрической принципиальной дистанционного управления с помощью электромагнитных пускателей

### **Автоматическое управление**

При включении пульта дистанционного управления ПУ-Ин1 совместно со светочувствительным автоматом (рис. 12.3) можно осуществить и автоматическое управление некоторых групповых линий

внутреннего освещения в зависимости от уровня естественного и искусственного освещения производственных помещений.

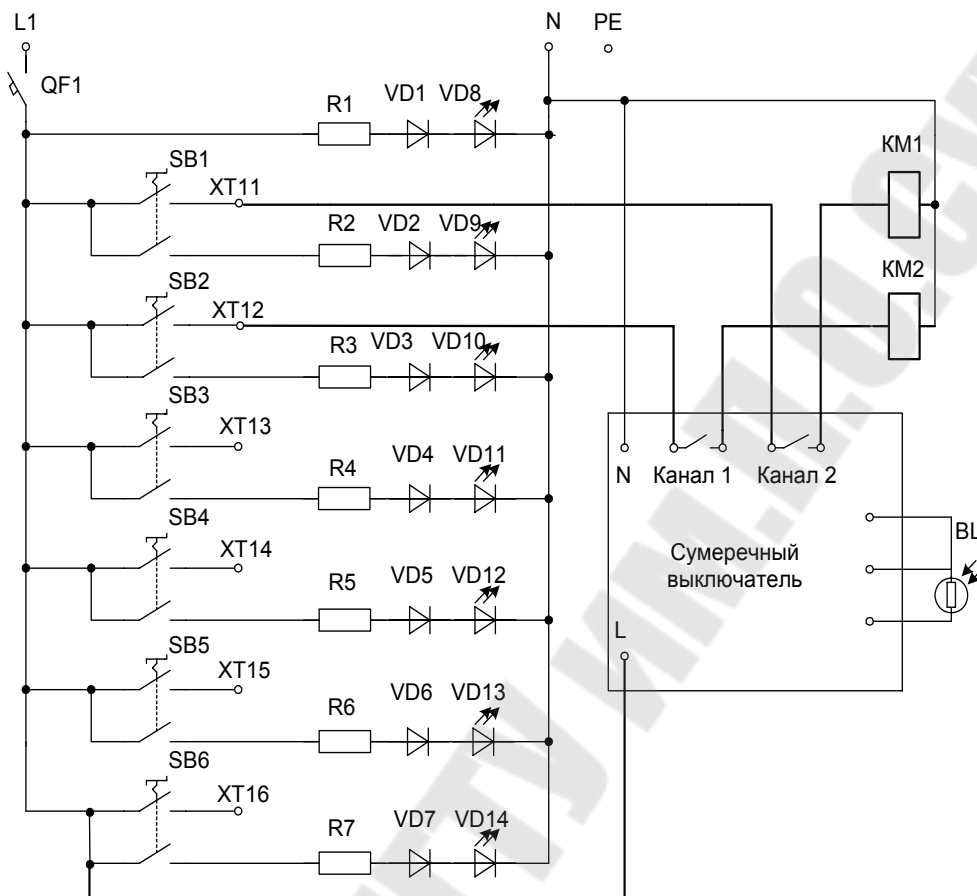


Рис. 12.3. Схема автоматического управления осветительной установкой внутреннего освещения

Светочувствительный сумеречный выключатель фирмы «ИНОСАТ-ЭНЕРГО» имеет два независимых канала с двумя нормами регулируемой освещенности. Используется для подачи команд на включение – отключение освещения двух групп светильников, когда освещенность датчика достигает заданного порога.

*Технические данные сумеречного выключателя:*

- напряжение 230 В переменного тока 50 Гц;
- пределы регулирования по каналу 1 – 2...150 лк, по каналу 2 – 150...7500 лк;
- номинальный ток контактов – 10 А;
- присоединение датчика кабелем 2×0,25 мм<sup>2</sup> длиной до 100 м.

### **Освещение мест общего пользования**

Освещение мест общего пользования жилых домов, т.е. подъездов и лестничных площадок этажных домов, общественных зданий

выполнено по традиционной схеме. В домах до пяти этажей устанавливались светильники типа ПСХ-60 с лампами накаливания на каждой лестничной площадке по одному светильнику. В жилых домах выше пяти этажей устанавливались светильники с лампами накаливания по три светильника на каждой лестничной площадке или светильниками с люминесцентными лампами мощностью  $1 \times 18$  Вт. Управление освещением, т.е. включение и отключение этих светильников производится выключателями общего пользования, которые устанавливаются на лестничной площадке при входе в подъезд и включают или отключают светильники одновременно на всех лестничных площадках. Даже если допустить, что человеческий фактор жильцов дома срабатывает четко и экономно – включение производится с наступлением сумерек, а отключение утром, то в летнее время рассвет наступает после трех часов утра и до движения жильцов освещение работает несколько часов при достаточном естественном свете, расходуя электрическую энергию не рационально.

Для улучшения рационального использования электрической энергии по освещению мест общего пользования жилых домов, общественных зданий можно применить лестничные автоматы.

Лестничный автомат, схема которого представлена на рис. 12.4, приспособлен для установки в щите освещения, предназначен для поддержания включенным освещение лестничной площадки в течение заданного промежутка времени (в диапазоне от 0,5 до 10 мин.). По истечении заданной уставки времени освещение автоматически выключается, т.е. включение освещения производится вручную, а отключение – автоматически с регулируемой выдержкой времени, которая позволяет подняться на свой этаж и открыть дверь квартиры.

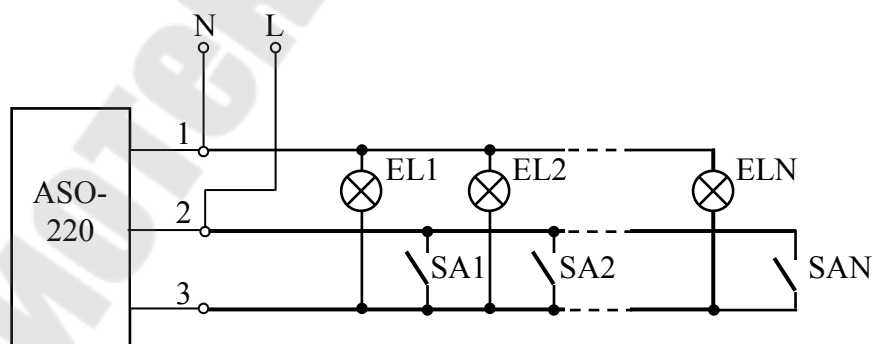


Рис. 12.4. Схема электрическая лестничного автомата управления освещением

Технические данные устройства:  
– напряжение питания – 220 В;

- максимальный ток нагрузки – 10 А;
- задержка выключения, регулируемая – 0,5 – 10 мин;
- потребляемая мощность – 0,85 Вт;
- степень защиты – IP65.

Для установки лестничного автомата потребуется дополнительно установить на каждой лестничной площадке выключатели.

### ***Управление наружным освещением***

Для управления наружным освещением территории промышленных предприятий применяется, как правило, дистанционное неавтоматическое (ручное) или автоматическое включение и отключение из диспетчерских пунктов предприятия. Диспетчер по индивидуальным линиям осуществляет включение или отключение того или иного участка сети наружного освещения.

Управление наружным освещением населенных пунктов, города выполняется централизованным дистанционным или телемеханическим. В отличие от дистанционного управления, при телемеханическом управлении все команды в виде закодированных электрических сигналов от диспетчера, или управляющей ЭВМ передаются по одному каналу телефонной связи. На объектах управления эти сигналы с помощью специальной аппаратуры преобразуются в команды управления, контроля, измерения, сигнализации.

Включение наружного освещения улиц, дорог, площадей производится при снижении уровня естественной освещенности до 20 лк, а отключение – при повышении освещенности до 10 лк. Нормирование уровня освещенности позволяет автоматизировать управление наружным освещением с помощью фотореле, схема которого приведена на рис. 12.5. Схема блока автоматического управления состоит из фотореле А1, фотодатчика ВЛ1, переключателя, магнитного пускателя сигнальной лампы и групповых автоматических выключателей. При достижении заданного уровня освещенности срабатывает фотореле и производит включение магнитного пускателя К1.1, который своими контактами включает групповые линии сети освещения.

Схема предусматривает также ручное управление с помощью переключателя SA1.



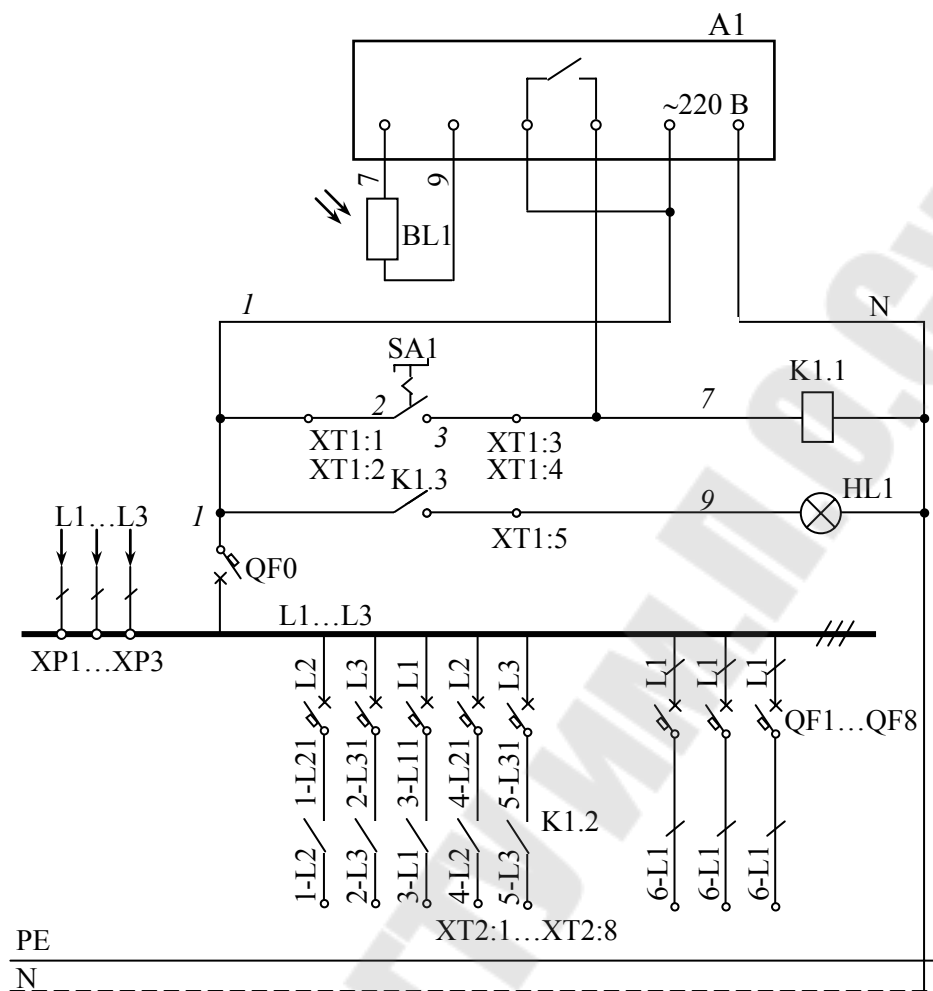


Рис. 12.5. Схема электрическая принципиальная управления наружным освещением с помощью фотореле

Для управления уличным освещением применяются шкафы наружного освещения (ШНО) Шкафы наружного освещения предназначены для приема, учета и распределения электрической энергии, а также защиты электрических установок при перегрузках и коротких замыканиях в осветительных сетях переменного тока частотой 50 Гц напряжением 380/220 В с глухозаземленной нейтралью.

Схемы шкафа ШНО предусматривают ручное и автоматическое управление электрическим освещением.

Ручное управление возможно при управлении кнопками, установленными на панели управления шкафа.

Автоматическое управление предусматривает два варианта управления наружным освещением:

- по освещенности и по временной программе осуществляется автоматическое управление с помощью фотодатчика и фотореле, срабатывающего при достижении заданного уровня освещенности, и

программируемого реле времени, включающего и отключающего осветительную установку в заданные периоды времени;

– каскадное управление (с аппаратурой управления от предыдущего участка) – автоматическое управление осуществляется подачей сигнала от предыдущего участка осветительной сети на реле, управляющие в вечернем и ночном режиме освещения.

Включение вечернего освещения производится включением реле и двух магнитных пускателей. При ночном режиме управления – вечернее освещение отключается одним электромагнитным пускателем и в работе остаются светильники наружного освещения, включенные, например в фазу А, т.е. каждый третий светильник.

### *Двухступенчатое управление с помощью фотореле и реле времени*

Схема предусматривает две ступени автоматического включения групповых линий светильников осуществляемое переключателем SA1 (рис. 12.8).

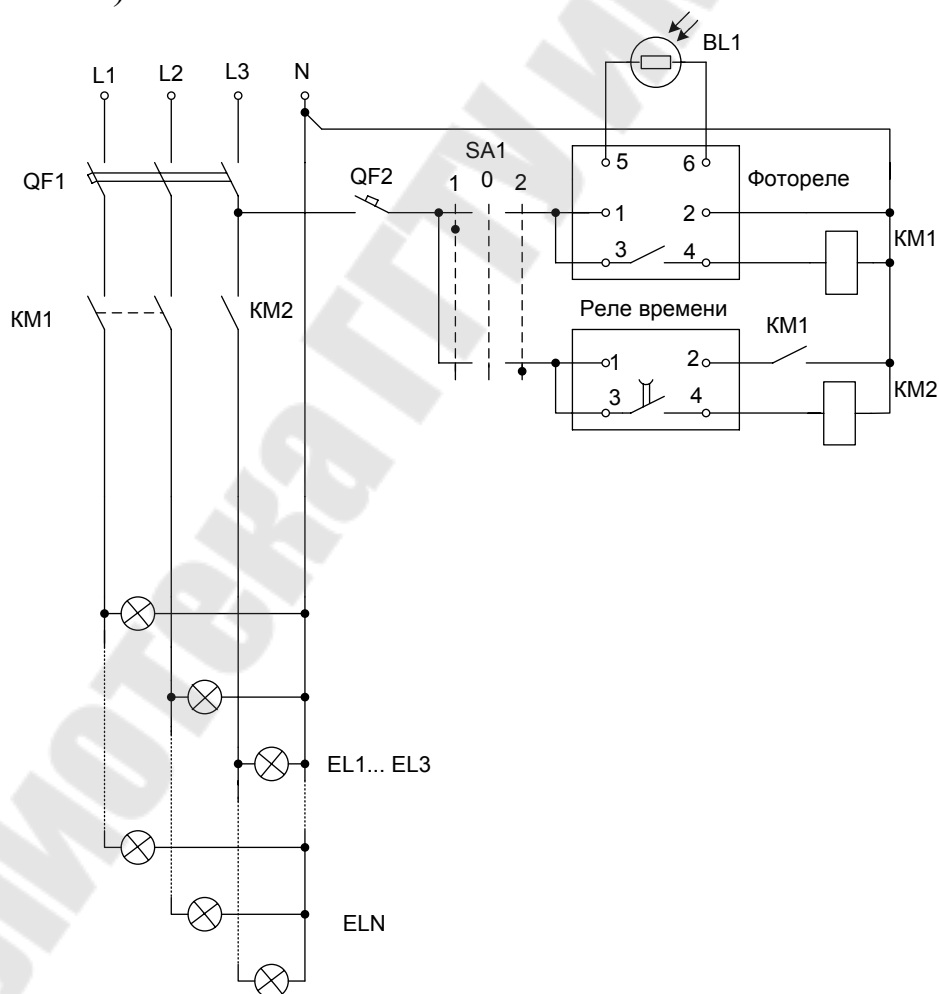


Рис. 12.8. Схема двухступенчатого управления наружным освещением

С наступлением сумерек срабатывает фотореле и реле времени при этом включаются электромагнитные пускатели КМ1 и КМ2, включая освещение.

При истечении уставки реле времени, которая может быть настроена от 0,1 с до 24 часов, отключается пускатель КМ2 и отключает напряжение «фазы С». С наступлением светлого времени суток фотореле отключит все светильники.

Экономия электроэнергии достигается за счет отключения 1/3 светильников по программе ночного режима работы осветительной установки.

### 13. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ОСВЕЩЕНИИ

Проанализируем, что и как может влиять на снижение потребления электрической энергии в освещении помещений, объектов, территорий, улиц.

#### 1. Уровни освещенности.

Уровни нормируемой минимальной освещенности определяют строительные нормы Беларуси «СНБ 2.04.05 – 98. «Естественное и искусственное освещение».

Снижать уровни освещенности помещений, чтобы снизить электропотребление не выход из положения, так как это связано со здоровьем людей. Следует заметить, что среднеевропейские уровни освещенности помещений на 100...200 лк выше, чем нормы, определяемые СНБ.

#### 2. Источники света.

Применение современных источников света. Все источники света подразделяются на температурные (лампы накаливания), газоразрядные лампы низкого давления (люминесцентные) и лампы высокого давления (ДРЛ, ДРИ, ДНаТ и т.д.).

На рисунке 13.1 приведена классификация источников света.



Рис. 13.1. Классификация источников света

– *Лампы накаливания* являются типичными теплоизлучателями. Важнейшие свойства лампы накаливания – световая отдача и срок службы – определяются температурой спирали. При повышении температуры спирали возрастает яркость, но вместе с тем и сокращается срок службы. Сокращение срока службы является следствием того, что испарение материала (вольфрама), из которого сделана нить, при высоких температурах происходит быстрее, вследствие чего колба темнеет, а нить накала становится все тоньше и тоньше и в определенный момент расплавляется, после чего лампа выходит из строя. Светоотдача ламп накаливания составляет примерно от 9 до 19 лм/Вт. Далеко от идеальной светоотдачи (683 лм/Вт).

Спектр излучения сплошной, что обеспечивает идеальную цветопередачу. Зажигание происходит моментально.

– *Галогенные лампы*. По структуре и принципу действия сравнимы с лампами накаливания, но они содержат в газе-наполнителе незначительные добавки галогенов (бром, хлор, фтор, йод) или их соединения. С помощью этих добавок возможно в определенном температурном интервале практически полностью устранить потемнение колбы (вызванное испарением атомов вольфрама нити накала). Поэтому размер колбы в галогенных лампах накаливания может быть сильно уменьшен.

Конструктивно не отличаются от ламп накаливания, но обладают более высоким сроком службы. Между сроком службы и световой отдачей существует прямая зависимость – чем больше светоотдача – тем меньше срок службы. Срок службы увеличен в галогенных лампах за счет иодно-вольфрамового цикла, возвращающего испарившийся вольфрам обратно на спираль.

– *Люминесцентные лампы* (флуоресцентная) – это газоразрядные лампы низкого давления. По форме различаются линейные, U-образные, кольцевые, а также компактные. Светоотдача люминесцентных ламп составляет примерно 40, 50, 60, 80 лм/Вт и более. Выпускаются люминесцентные лампы мощностью 20, 30, 40, 80 Вт с колбой диаметром 40 мм и улучшенной конструкции 18, 36, 58 Вт с колбой 26 мм.

– *Ртутные лампы* высокого давления. Дуговая ртутная люминесцентная (ДРЛ). Характеризуется высокой светоотдачей и сроком службы в среднем 10000 ч. Светоотдача ламп ДРЛ составляет примерно для ДРЛ 250 – 54, ДРЛ400 – 60, ДРЛ700 – 58, ДРЛ1000 – 59 лм/Вт.

Спектр видимого излучения смещен в сторону ультрафиолетового излучения и поэтому эти лампы непригодны для освещения тех помещений, где работа связана с высокими требованиями по цветопередаче.

– *Металлогалогенные лампы* дуговые ртутные с излучающими добавками (ДРИ) – это ртутные лампы высокого давления с добавлением иодидов металлов или йодидов редкоземельных элементов. Эти соединения распадаются в центре разрядной дуги, и пары металла могут стимулировать эмиссию света. Световая отдача и цветопередача дугового разряда ртути и световой спектр значительно улучшаются. Светоотдача ламп составляет примерно ДРИ 250 – 76, ДРИ400 – 87, ДРИ700 – 85, ДРИ1000 – 90 лм/Вт.

Световая отдача и более высокий индекс цветопередачи чем ламп ДРЛ, но срок службы ниже.

– *Натриевые лампы* (ДНаТ) – наиболее эффективные современные источники света. Световая отдача их достигает 100...130 лм/Вт (рекорд среди источников света). Продолжительность работы – до 15000 ч.

Спектр видимого излучения лежит в зоне желто-красного цвета, что делает эти лампы непригодными для освещения помещений, где выполняется зрительная работа. Обладая высоким световым потоком и искривленным спектром излучения освещение натриевыми лампами создает слепящее действие, дискомфорт, а следовательно быструю утомляемость и снижение работоспособности.

– *Светоизлучающие диоды* (СИД)

Решение проблемы снижения мощности, электропотребления и эксплуатационных затрат осветительных установок позволит в скором будущем решить средствами, которые ранее не воспринимались всерьез – это светоизлучающие диоды (СИД).

Светоизлучающие диоды (СТД) LED. Было замечено, что диоды, при применении в них некоторых лигирующих материалов изменяются их характеристики, они излучают свет. Со временем эти диоды стали применять как индикаторы. По мере повышения уровня полупроводниковых технологий стало возможным производить все более яркие светодиоды и разнообразить их цветом.

Спектр светодиодов (кроме белого) линейчатый приближающийся к монохроматическому, поэтому долго не существовало белых светодиодов, так как белый свет представляет собой смешение цветов.

Получить белое свечение светодиодов возможно двумя способами:

– первый, наиболее распространенный, вариант предполагает использование ультрафиолетового светодиода с нанесением на линзу люминофора;

– второй – использование так называемой светодиодной сборки из трех светодиодов – зеленого, красного и синего. Светодиоды, полученные таким способом называют «полноцветными».

### 3. Светильники и ПРА.

Применение энергосберегающих светильников – конструктивное исполнение светильников и прожекторов (зеркальные отражатели, экранирующие решетки), антивандальная конструкция.

Электронные ЭПРА для люминесцентных ламп и разрядных ламп высокого давления, которые обеспечивают увеличение световой отдачи источников света, снижение потерь в ЭПРА, увеличивают сроки службы ламп. Потери в электронных ЭПРА составляют 1,05...1,08, когда ЭмПРА – 1,2. Коэффициент мощности светильников с ЭПРА составляет 0,92...0,97.

Так как частота подводимого напряжения увеличена с 50 до 30 000 Гц, устранена пульсация светового потока – лампа светит ярче. В результате этих условий экономия электроэнергии при применении ЭПРА достигает 30%.

### *Производственные помещения*

Для освещения производственных помещений применять светильники с разрядными лампами высокого давления и разрядными лампами низкого давления с электронными пускорегулирующими аппаратами (ЭПРА), имеющих значительно меньшие потери мощности, высокий коэффициент мощности 0,96. Как вариант выпускаются ЭПРА с регулированием светового потока до 50 %.

Производятся светильники с компактными люминесцентными лампами серии ФСП 01 2×57 Вт, которые позволяют заменить светильники с лампами ДРЛ мощностью 250 Вт и ФСП 01 4×57 – на светильники с лампой ДРЛ400 Вт, такая замена экономит электроэнергию до 3...5 раз.

На рисунке 13.3 представлен внешний вид светильников с компактными люминесцентными лампами ФСП 01-2×57, ФСП 01-4×57.



Рис. 13.3. Внешний вид светильника серии ФСП 01-2×57, ФСП 01 4×57

### **Общественные здания**

Уже широко применяются растровые светильники с люминесцентными лампами типа «РУБИН» с мощностью ламп 2×18 Вт; 4×18 Вт; 2×36 Вт; 4×36 Вт с электронными ПРА. Эти светильники имеют зеркальные отражатели из шлифованного алюминия и весьма эффективно распределяют световой поток ламп в помещении, создают комфортные условия.

На рисунке 13.4 представлены растровые светильники с люминесцентными лампами 4×18 и 2×36 Вт.



Рис. 13.4. Внешний вид растровых светильников с люминесцентными лампами

### **Жилые здания**

В последнее время электротехнические предприятия предлагают компактные люминесцентные лампы с цоколем Е 27 мощностью 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 16, 20, 23, 26 Вт, позволяющих производить полную замену ламп накаливания. Широкий выбор электробытовых осветительных приборов выпускает БелОМО г. Минск с компактными источниками света галогенными лампами, характеризующиеся интенсивным световым потоком, позволяют снизить электропотребление в 2...2,5 раза.



Поступившие в продажу энергосберегающие осветительные приборы конструктивно можно разделить на две группы:

- с компактными галогенными источниками света лампами (КГ);
- с компактными люминесцентными лампами (КЛ).

Галогенные компактные лампы типа КГМ изготавливаются на напряжение 12, 24 В и мощностью 20, 35, 50, 75 Вт, которые имеют целый ряд преимуществ по сравнению с обычными лампами накаливания. Включаются в электрическую сеть с понижающим трансформатором 220/12, или 220/24 В. Трансформатор устанавливается в корпусе осветительного прибора и имеет мощность, значительно больше чем сама лампа.

По данным изготовителей осветительных приборов с галогенными лампами потребление электроэнергии снижается в 2 – 2,5 раза по отношению к обычным лампам накаливания общего назначения они характеризуются более интенсивным световым потоком при той же потребляемой мощности, благодаря высокой световой отдаче, а, следовательно, обладают повышенной энергоэкономичностью. Лампы такого типа обеспечивают стабильный световой поток в течение всего срока службы, великолепную цветопередачу и имеют увеличенный срок службы, в 2 раза больший, чем у обычных ламп накаливания.

Следует заметить, что сами лампы действительно имеют небольшую мощность, но измеренные потери в трансформаторе составляют до 10 % от мощности трансформатора. Так, например светильник с тремя галогенными лампами мощностью каждой по 20 Вт, выпускаемый объединением «БелОМО» г. Минск, имеет встроенный понижающий трансформатор мощностью 100 В·А. При расчете электропотребления такими светильниками следует учитывать и потери в трансформаторе.

Вторая группа компактных источников света, применяемых в современных разнообразных по конструкции осветительных приборах, это компактные люминесцентные лампы.

Первоначальной целью выпуска компактных люминесцентных ламп являлась необходимость создания энергоэффективных ламп с относительно небольшим световым потоком для применения в бытовых осветительных приборах. Выпускаемые в настоящее время компактные люминесцентные лампы отличаются меньшими мощностями

со шкалой мощностей от 3 до 105 Вт, с диапазоном светового потока от 125 лм и выше (ведутся разработки).



Рис. 13.5. Внешний вид компактных люминесцентных ламп

Выпускаются компактные лампы со штыревым цоколем типа G23, резьбовым – Ц14 и Ц27 (диаметр цоколя 14 или 27 мм) (рис. 13.5), что делает их применимыми в светильниках разнообразной конструкции. Лампы с резьбовым цоколем без дополнительной переделки осветительных приборов могут заменять лампы накаливания.

Светильники с линейными компактными люминесцентными лампами отличаются оригинальной конструкцией, создают мягкое, комфортное освещение.

Включение компактных ламп совместно с электронными пуско-регулирующими аппаратами (ЭПРА) снижает пульсацию светового потока, стробоскопический эффект, обеспечивает быстрое зажигание по сравнению с дроссельными электромагнитными ПРА.

Сравнение технических данных ламп накаливания и компактных люминесцентных ламп показывает, что электропотребление значительно меньше, при относительно одинаковом световом потоке ламп.

### ***Жилищно-коммунальное хозяйство***

1. Затрачиваемую электроэнергию на освещение мест общего пользования жилищного фонда можно уменьшить за счет реконструкции освещения подъездов и лестничных площадок.

Для этих целей разработаны антивандальные светильники серии ЛПБ 31-11-006 с компактной люминесцентной лампой КЛ-11 мощностью 11 Вт (рис. 13.6) вместо существующих светильников ПСХ-60 с

лампами накаливания мощностью 60 Вт. Предлагаемая замена не снижает освещенность подъездов и лестничных площадок, так как световой поток компактных люминесцентных ламп выше, чем ламп накаливания.



Рис. 13.6. Внешний вид светильника ЛПБ 31-11-006

2. Применение лестничных автоматов для поддержания включенным освещение лестничных площадок, коридора в течение заданного времени (в диапазоне от 0,5 мин. До 10 мин.), по истечении которого освещение автоматически отключается.

### ***Наружное освещение***

Для наружного освещения территории предприятий, организаций, а также уличного освещения выгодно применять разрядные лампы высокого давления типа ДНаТ, имеющих световой поток значительно выше ртутных ламп с электронным пускорегулирующим аппаратом снижающих потери в ПРА до минимума и повышающего коэффициент мощности до 0,96.



Рис. 13.7. Внешний вид светильника с компактными лампами серии ЛКУ 01-42 и ЛКУ 01-2x57

Уже несколько лет как освоено производство светильников с компактными люминесцентными лампами серии ЛКУ 01-42 с лампой мощностью 42 Вт и ЛКУ 01-2×57 мощностью 2×57 Вт. Светильники ЛКУ 01 с лампой мощностью 42 Вт позволяет заменить светильник РКУ с ртутной лампой ДРЛ125 и уменьшить потребление электроэнергии в три раза.

### 3. Управление электрическим освещением.

Применение автоматического или дистанционного управления ОУ; включение и отключение освещения полностью или по группам светильников; ступенчатое или плавное регулирование светового потока ИС; лестничные автоматы жилых этажных домов. Автоматическое управление электрическим освещением позволяет экономить до 40 % электроэнергии в электрическом освещении.

Одно из направлений снижения электропотребления осветительных установок это автоматизировать управление освещением, сделать его независимым от человеческого фактора. Такие поиски ведутся уже давно, со времен открытия фотоэффекта.

Автоматизация предусматривает включение и отключение источников света в зависимости от уровня естественного освещения. Реализация такой автоматизации началась с внедрения на производственных предприятиях систем зонного управления при совмещенном освещении. При зонном управлении все рабочее освещения производственного корпуса делится на технологические участки, в пределах которых светильники питаются от щитков освещения, которые управляются дистанционно из диспетчерского пункта или автоматически с помощью программных реле. Каждый участок делится на зоны по условиям естественной освещенности. В результате снижается время горения ламп, а, следовательно, и электропотребление.

Применение многоуровневых автоматов-светорегуляторов, которые состоят из фотодатчика, фотореле и исполнительных аппаратов управления – контакторов. Светорегулятор позволяет попеременно управлять несколькими рядами светильников от одного фотодатчика. Среднегодовая экономия электроэнергии применения светорегуляторов более 25 % .

Быстрое развитие электроники и микропроцессорной техники предоставило специалистам широкие возможности и выбор схемных реализаций систем автоматического управления освещением на базе тиристоров и симисторов типа ФЭВН-1. Светочувствительный элемент блока снабжен одним или двумя фоторезисторами в зависимо-

сти от требуемой освещенности рабочих поверхностей. Силовой блок имеет на выходе мощные тиристоры включающие и отключающие группы светильников.

Разрабатываются схемы автоматического управления освещением со стандартным таймером на микросхеме, который управляется микроконтроллером и специальным блоком синхронизации. Для увеличения числа каналов регулирования и управления схемы с микроконтроллерами целесообразно подключать по последовательному интерфейсу к центральной ЭВМ, которая может одновременно изменять программу работы микроконтроллеров и управлять дистанционно освещением.

Для управления внутренними осветительными установками крупных корпусов административных и общественных помещений разработан иллюминационный процессор L-matrix 64. Это 64-канальный регулятор яркости с независимым программным обеспечением каждого канала. Процессор имеет следующие параметры:

- количество каналов – 64;
- уровней регулирования – 512
- максимальная мощность нагрузки – 500 Вт на канал;
- силовая сеть 380/220 В (1, 2, 3-х фазной системы напряжения);
- потребляемая мощность 130 Вт.

### ***Освещение общественных и жилых помещений***

В управлении электрическим освещением общественных, административных зданий, жилых помещений могут использоваться датчики движения, которые предлагаются зарубежными производителями.

#### ***Датчик движения ST03 фирмы «Flash»***

Датчик движения настенный с выключателем серии ST03, внешний вид которого представлен на рисунке 13.8, устанавливается на стене помещения и автоматически включает освещение при входе в помещение и автоматически отключает, когда люди покинут помещение. Угол обзора 140° по горизонтали; отключаемая мощность ламп – 1200 Вт.

Датчик движения автоматически включает освещение при входе в помещение или когда человек оказывается в зоне действия датчика на улице. Освещение автоматически отключается, как только люди покинут помещение. Устройство может работать и как обычный выключатель.

Применение датчика-выключателя для управления электрическим освещением избавит от проблемы бесцельно включенного освещения, позволит экономить электроэнергию. Экономия достигается за счет сокращения времени использования осветительных приборов посредством автоматического управления.



Рис. 13.8. Внешний вид датчика движения серии ST03

Определить эффективность внедрения датчика-выключателя а, следовательно, и экономию электроэнергии можно, сопоставив время использования осветительной установки при ручном и автоматическом управлении после установки датчика-выключателя.

### ***Расчет энергосберегающих мероприятий***

Потребление электрической энергии на электрическое освещение в промышленности составляет до 15 %; на освещение общественных зданий до 80 %. Поэтому разработка и расчет энергосберегающих мероприятий производится с целью экономии электроэнергии затрачиваемой и на электрическое освещение помещений. Электрическое освещение сооружается не на один год, а на десятилетия, за это время осветительное оборудование источники света и светильники претерпевают физический износ и морально устаревают. Развитие и производство светотехнических устройств развивается, появляются новые решения и разрабатываются новые изделия по светотехническим и электрическим параметрам превосходящие прежние разработки. Экономически целесообразно произвести замену устаревших источников света, светильников, систем управления электрическим освещением на более новые с улучшенными техническими характеристиками, так как такая замена окупится за счет стоимости сэкономленной электроэнергии.

Произведем на примере расчет энергосберегающих мероприятий.

### ПРИМЕР 1

Произвести замену ламп накаливания в светильниках освещения лестничных площадок жилого дома на компактные люминесцентные энергосберегающие (КЛЭ).

Произвести расчет экономии электроэнергии при замене ламп накаливания мощностью 60 Вт, в количестве 20 шт., на компактные люминесцентные лампы мощностью 11 Вт.

Сравнительные технические данные ламп накаливания и компактных люминесцентных ламп приведены в таблице 13.1.

Таблица 13.1

#### Сравнительные данные ламп накаливания и компактных люминесцентных ламп

Тип ламп	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Срок службы, час	Тип цоколя
БК 215-225	60	730	800 - 1000	E27
КЛЭ-11	11	800	8000	E27

#### РЕШЕНИЕ:

Определим потребление электрической лампой накаливания мощностью 60 Вт

$$W_1 = P_{\text{уст}} \cdot K_c \cdot T_p,$$

где  $P_{\text{уст}}$  – установленная мощность освещения, кВт;

$K_c$  – коэффициент спроса;

$T_p$  – время работы освещения, 10 час в сутки или 3500 час в год:

$$W_1 = 0,06 \cdot 20 \cdot 1,0 \cdot 3600 = 4320 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Определим потребление электроэнергии компактной люминесцентной лампой мощностью 11 Вт

$$W_2 = P_{\text{уст}} \cdot K_c \cdot T_{\text{ф}},$$

где  $T_{\text{ф}}$  – время работы освещения, 10 час

$$W_2 = 0,011 \cdot 20 \cdot 1,0 \cdot 3600 = 792 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

При замене одного светильника подъезда экономия составит:

$$\Delta W = W_1 - W_2;$$

$$\Delta W = 4320 - 792 = 3528 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Произведем перевод электроэнергии (кВт · ч) в условное топливо.

В тоннах условного топлива –  $3,528 \cdot 0,28 = 0,99$  т у.т.,  
где 0,28 – переводной коэффициент электроэнергии (кВт · ч) в тонны условного топлива (т у.т.), что в денежном выражении составит –  $0,99 \cdot 120 = 119$  у.е.,

где 120 – стоимость тонны условного топлива, у.е. на 2008 год.

Определим капиталовложения в мероприятия:  
стоимость компактной люминесцентной лампой составят – 12000 руб или 6,1 у.е. (курс рубля Республики Беларусь к у.е равен 2120).

Всего требуется 20 ламп –  $6,1 \cdot 20 = 122$  у.е.

Срок окупаемости составит:

$$C_{ок} = K_{осв} / \Delta W = 122 / 119 = 1,0 \text{ год.}$$



## ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок/ Министерство топлива и энергетики РФ. – 6-е изд. доп. и перераб. – М.: Главгосэнергоиздат России, 1998. – 608 с.
2. СНБ 2.04.05-98. Естественное и искусственное освещение. – Мн.: Министерство архитектуры и строительства, 1998. – 59 с.
3. ГОСТ 30331.15-2001 (МЭК-5-52-93). Электроустановки зданий. Ч.5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 52. Электропроводки – Мн.: Изд-во стандартов, 1993. – 17 с.
4. ГОСТ 30331.15-2001 (МЭК-5-52-93). Электроустановки зданий. Ч.5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 54. Заземляющие устройства и защитные проводники – Мн.: Изд-во стандартов, 1993. – 17 с.
5. Кнорринг Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения. – Л.: Энергия, 1976. – 385 с.
6. Инструкция по проектированию силового и осветительного оборудования промышленных предприятий: СН 357-77. – М.: Стройиздат, 1977. – 77 с.
7. ГОСТ 21.608-84. Внутреннее электрическое освещение. Рабочие чертежи. – Мн.: Изд-во стандартов, 1984. – 16 с.
8. СНиП 1.02.01-85. Инструкция о составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений. – 18 с.
9. Кузнецов В.С. Электроснабжение и электроосвещение городов: Учеб. пособие. – Мн.: высш. Шк., 1989. – 136 с.
10. Кнорринг Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г.М.Кнорринг, И.М.Федин, В.Н.Сидоров. – СПб.: Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.
11. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю.Б. Айзенберга. – 2-е изд. доп. и перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 528 с.
12. Оболенцев Ю.Б. Электрическое освещение общепромышленных помещений / Ю.Б. Оболенцев, Э.Л.Гиндин. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 112 с.
13. Епанешников М.М. Электрическое освещение / М.М. Епанешников. – М.: Энергия, 1973. – 352 с.
14. Кнорринг Г.М. Светотехнические расчеты в установках искусственного освещения / Г.М. Кнорринг. – Л.: Энергия, 1973. – 200 с.
15. Правила устройства электроустановок / Министерство топлива и энергетики РФ. – 7-е изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 1999.

16. ГОСТ 30331.2-95 (МЭК 364-3-93). Электроустановки зданий. Часть 3. Основные характеристики. – Мн.: Изд. Стандартов, 1995.
17. Цигельман И.Е. Электроснабжение гражданских зданий и коммунальных предприятий / Цигельман И.Е. 3-е изд. испр. и доп. – М.: Высш. шк., 1988.
18. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Мн.: Изд-во стандартов, 1997. – 30 с.
19. ГОСТ 30331.3-95. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током. – Мн.: Изд-во стандартов, 1992.
20. Пособие П2.2000 к СНиП 2.08.01-89 Электроустановки жилых и общественных зданий. – Мн.: АП «Институт Белпроект», 2000.
21. ГОСТ Р50807-95. Устройства защитные, управляемые дифференциальным (остаточным) током. Общие требования и методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1995.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Основные определения и светотехнические величины .....	3
2. Источники света .....	10
3. Газоразрядные источники света .....	25
4. Разрядные лампы высокого давления .....	33
5. Светильники .....	40
6. Правила и нормы электрического освещения. Виды и системы электрического освещения .....	49
7. Методы светотехнического расчета электрического освещения .....	61
8. Электрическое наружное освещение .....	73
9. Электрический расчет осветительной установки .....	81
10. Расчет сети электроосвещения .....	91
11. Проектирование электрического освещения .....	105
12. Управление освещением производственных помещений ...	115
13. Энергосбережение в электрическом освещении .....	124
Литература .....	137

# **ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ И ИЗЛУЧАЮЩИЕ УСТАНОВКИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

**Курс лекций  
по одноименной дисциплине  
для студентов специальности 1-43 01 03  
«Электроснабжение»  
дневной формы обучения**

Составители: Ус Анатолий Георгиевич  
Елкин Валерий Дмитриевич

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 23.04.09.

Рег. № 38Е.

E-mail: [ic@gstu.gomel.by](mailto:ic@gstu.gomel.by)  
<http://www.gstu.gomel.by>