

Министерство образования Республики Беларусь

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

Кафедра «Электроснабжение»

А. Г. Ус, В. Д. Елкин

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

КУРС ЛЕКЦИЙ

**по одноименной дисциплине для студентов
специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение
(по отраслям)» специализации 1-43 01 03 01
«Электроснабжение промышленных предприятий»
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2011

УДК 628.9(075.8)
ББК 31.294я73
У74

*Рекомендовано научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 6 от 29.03.2010 г.)*

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

Ус, А. Г.

У74

Электрическое освещение : курс лекций по одной дисциплине для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» специализации 1-43 01 03 01 «Электроснабжение промышленных предприятий» днев. и заоч. форм обучения / А. Г. Ус, В. Д. Елкин. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2011. – 155 с. – Систем. требования: РС 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.

Систематизирован материал по осветительным установкам, их устройству, проектированию и эксплуатации, даны технико-экономические обоснования мероприятий по энергосбережению.

Для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» специализации 1-43 01 03 01 «Электроснабжение промышленных предприятий» дневной и заочной форм обучения.

**УДК 628.9(075.8)
ББК 31.294я73**

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2011

ВВЕДЕНИЕ

Название дисциплины «Электрическое освещение» само говорит о себе. Материал курса представляет собой информацию об электроосветительных установках, их элементах; о правилах и нормах искусственного освещения; о проектировании и эксплуатации осветительных установок.

Дисциплина в полном объеме обеспечена всеми видами учебных занятий – теоретическим (лекционным), практическими и лабораторными занятиями. Изучение электрического освещения предусмотрено и при прохождении производственных практик.

В теоретическом курсе приводятся: описание устройства и принципов работы осветительных установок и их элементов; нормативно-правовая и – техническая информация об электрическом освещении; рассматриваются вопросы проектирования осветительных установок, в т.ч. светотехническая часть – выбор источников света, норм освещенности, типов осветительных приборов, их высоты подвеса и размещения, светотехнические расчеты, и электрическая часть – разработка схем питания осветительных установок, выбор типов щитков освещения и их размещения, марки проводов и кабелей и способов их прокладки, расчет осветительной электрической сети – выбор сечений проводов и кабелей и расчет защиты; управление освещением и эксплуатация осветительных установок. Даются основные светотехнические понятия и величины, световые свойства материалов, фотометрия.

На практических занятиях рассматриваются вопросы выбора источников света, типа светильников, их высоты подвеса и размещения, выполняются светотехнические и электрические расчеты – выбор сечения проводов и кабелей, расчет защиты электрической сети и электроприемников.

На лабораторных занятиях проводятся исследования существующих источников света – источников света, работающих на принципах теплового излучения, разрядных источников света низкого и высокого давления. Изучаются электрические и светотехнические характеристики их, схемы включения, управление освещением.

На заключительном этапе изучения курса «Электрическое освещение» каждым студентом самостоятельно выполняется курсовая работа – разрабатывается проект осветительной установки цеха с вспомогательными помещениями.

Изучение данного курса основывается на знаниях других дисциплин: по физике – раздел "Оптика", электротехническим материалам – раздел "Разряды в газах", промышленным потребителям электроэнергии – раздел "Графики и методы определения расчетных электрических нагрузок, электрическим системам и сетям – раздел "Местные электрические сети", а также по курсу "Электроснабжение промышленных предприятий" – раздел "Распределение электрической энергии на напряжении до 1 кВ".

Целью изучения курса «Электрическое освещение» является формирование знаний, позволяющих грамотно и эффективно проектировать и вести эксплуатацию осветительных установок промышленных предприятий.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ДИСЦИПЛИНЕ «ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ». СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОНЯТИЯ И ВЕЛИЧИНЫ

Введение

Электрическое освещение широко применяется в жизни человека – на производстве и в быту в качестве внутреннего освещения – для освещения помещений и зданий; в качестве наружного освещения – для освещения открытых пространств, улиц, площадей; применяется также для рекламного освещения, для специальных биологических и медицинских целей.

Огромное значение электрического освещения для производственной и культурной деятельности человека заключается в следующем:

а) рациональное освещение рабочих мест способствует повышению производительности труда, качеству выпускаемой продукции, является одним из важнейших условий безопасного выполнения работы;

б) благоприятная световая обстановка в помещении создает нормальные эстетические, физиологические и психологические воздействия на человека;

в) освещение открытых пространств является одним из условий безопасного движения пешеходов и механических средств.

Значимость электрического освещения усиливается еще и тем, что оно расходует для своей работы 10...14 % всей потребляемой электроэнергии в народном хозяйстве. В нашей стране это более 4 млрд. кВт.ч.

Успешно находит применение электрическое освещение и для специальных целей – медицинских (светолечение), биологических (в растениеводстве и животноводстве).

1.1. Предпосылки возникновения, предмет и характеристика курса

Как самостоятельная дисциплина «Электрическое освещение» возникла в связи с развитием осветительной техники и значительной величиной электроэнергии, потребляемой осветительными установками.

Предпосылками возникновения курса явились также следующие открытия и изобретения:

1799г. – разработка итальянским физиком Вольтом источника непрерывного постоянного тока;

1802г. – открытие электрической дуги Петровым (Санкт-Петербург);

1872г. – впервые световую энергию получил Лодыгин, пропускания электрический ток через графитовый стержень, помещенный в вакуум;

1876г. – изобретение свечи Яблочковым. Он также занимался проблемами питания нескольких осветительных приборов от одного источника. Пошел по пути применения переменного тока, создав впервые электромагнитное устройство – трансформатор;

1879г. – американский ученый Эдисон разработал лампу накаливания с угольным стержнем;

1909г. – лампы накаливания начали изготавливаться с вольфрамовой нитью (одновременно следует отметить, что в столетний юбилей разработки ламп накаливания - с сентября 2009г. Евросоюз отказался от использования ламп накаливания мощностью 100 и более ватт);

в 20-х годах предыдущего двадцатого столетия появились разрядные источники света.

Предметом курса являются осветительные установки и их элементы, принципы их работы и устройство, проектирование осветительных установок, эксплуатация и управление осветительными установками.

Элементами осветительных установок являются источники света и осветительные приборы с пускорегулирующей аппаратурой, электрические сети освещения, в т.ч. щитки освещения (магистральные и групповые), провода, кабели, шинопроводы.

В курсе изложены основные световые понятия и величины. Значительное место отводится вопросам нормирования освещения, проектированию и расчетам осветительных установок.

На сегодняшний день это сформировавшийся курс, состоящий из следующих разделов:

1. Общие сведения о дисциплине «Электрическое освещение». Светотехнические понятия и величины.

В разделе приводится характеристика учебной программы дисциплины. Указывается цель и задачи изучения курса. Рекомендуемая литература. Связь с другими дисциплинами специальности.

Отмечается значимость электрического освещения в жизни человека. Указываются предпосылки возникновения и предмет курса.

Приводится краткая характеристика дисциплины. Основные задачи на сегодняшний день, стоящие в области электрического освещения. Рассматривается природа электромагнитных излучений. Световые величины и понятия. Световые свойства материалов, фотометрия.

2. Элементы осветительных установок.

Рассматриваются источники света и осветительные приборы. Приводится следующий материал:

2.1. Источники света

Лампы накаливания (ЛН). Теория теплового излучения. Конструктивное исполнение и типы ЛН. Галогенные лампы накаливания (КГ). Световые и электрические характеристики ЛН. Достоинства и недостатки ЛН.

Разрядные источники лучистой энергии. Процесс электрического разряда в газах и парах металлов. Механизм возникновения излучений в газе.

Люминесцентные лампы низкого давления (ЛЛ). Устройство ЛЛ, преобразование электроэнергии в световые излучения. Типы ЛЛ. Достоинства и недостатки ЛЛ. Схемы включения ЛЛ и пускорегулирующая аппаратура (ПРА).

Дуговые ртутные лампы высокого давления (ДРЛ). Устройство и принцип работы ДРЛ. Достоинства и недостатки ДРЛ. Схемы включения ламп ДРЛ. Металлогалогенные лампы (ДРИ). Натриевые лампы (ДНаТ). Схемы включения ламп ДРИ, ДНаТ. Ртутно-накальные лампы (ДРВ). Ксеноновые лампы (ДКсТ).

2.2. Осветительные приборы

Светильники. Назначение, конструкция и светотехнические характеристики светильников. Классификация светильников по конструктивному исполнению.

Прожекторы. Назначение, конструкция и светотехнические характеристики прожекторов.

3. Правила и нормы искусственного освещения. Проектирование и методы расчета осветительных установок.

В разделе дается следующее:

3.1. Виды освещения

Рабочее, аварийное (освещение безопасности и эвакуационное), охранное и дежурное освещение.

3.2. Требования к искусственному освещению

Основные требования, предъявляемые к искусственному освещению. Принципы нормирования освещенности. Общие и отраслевые нормы искусственного освещения.

3.3. Проектирование осветительных установок

3.3.1. Объем и содержание проектных материалов.

Технический проект. Рабочая документация.

3.3.2. Светотехническая часть проекта

Выбор системы освещения, источников света, освещенности и коэффициента запаса; выбор типа светильников, высоты их подвеса и размещения; определение установленной мощности осветительной установки.

3.3.3. Светотехнические методы расчета освещения

Метод коэффициента использования светового потока, метод удельной мощности освещения на единицу площади, точечный метод расчета и использованием пространственных и линейных изолюкс. Расчет прожекторного освещения.

3.3.4. Электрическая часть проекта

Разработка схемы питания осветительной установки; выбор напряжения питания; выбор типа щитков освещения, мест их размещения и трассы электрической сети, выбор марки проводов и кабелей и способов их прокладки; расчет электрической сети.

4. Управление освещением. Эксплуатация осветительных установок.

В разделе рассматривается следующий материал:

4.1. Виды, схемы и технические средства управления освещением

Индивидуальное и групповое управление. Схемы местного, дистанционного и автоматического управления освещением и применяемые технические средства.

4.2. Эксплуатация осветительных установок

Прием в эксплуатацию осветительных установок. Чистка светильников и замена ламп. Планово-предупредительные осмотры и ремонты элементов осветительных установок. Контроль освещенности рабочих мест.

4.3 Экономное использование электрической энергии осветительными установками

1.2. Основные задачи на сегодняшний день, стоящие в области электрического освещения

Задачами в области электрического освещения являются:

1) Разработка источников света с улучшенными светотехническими и экономическими характеристиками.

2) Разработка осветительных приборов с улучшенными эстетическими светотехническими и экономическими характеристиками.

3) Разработка технических средств и способов эффективного управления освещением.

4) Разработка комплексных регуляторов, учитывающих одновременно законы изменения естественного освещения и изменение напряжения питающей сети.

5) Разработка мероприятий по экономному использованию электроэнергии осветительными установками.

1.3. Природа электромагнитных и видимых излучений

Любое тело, температура которого выше абсолютного нуля излучает в пространство лучистую энергию. Перенос этой энергии осуществляется электромагнитными волнами. В 1890г. Лебедев П.Н. установил, что излучения представляют собой поток материальных частиц. Эти материальные частицы, позже названные А. Эйнштейном фотонами, обладают конечной массой и скоростью в безвоздушном пространстве 300 000 км/с.

Отличие материи излучения от материи вещества заключается в том, что ее масса покоя равна нулю.

Любое электромагнитное (ЭМ) излучение характеризуется длиной волны (λ – длина волны в нанометрах, $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$):

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

где f – частота ЭМ колебаний (волны), пропорциональна минимальной порции энергии излучения (энергии кванта), которая выделяется атомом при переходе одного или нескольких электронов с удаленных энергетических уровней на свои стационарные, базовые орбиты;

c – скорость света, $3 \cdot 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

Область ЭМ излучений, встречающихся в природе характеризуется широким интервалом длин волн от 10^{-4} нм (γ – излучение), до 10^3 км (излучение генератора переменного тока промышленной частоты 50 Гц)).

На рисунке 1.1 приведен спектр электромагнитных излучений с длинами волн от 10^{-2} нм до 10 м.



Рис. 1.1. Спектр электромагнитных излучений

Область ЭМ излучений, лежащая между областью рентгеновских излучений и областью радиоизлучений является областью оптических излучений.

Видимые излучения воздействуя на глаз вызывают ощущения света. Чувствительность глаза человека к различным длинам волн неодинакова. Максимальная чувствительность соответствует длинам волн в 555 нм.

Энергию излучения (лучистую энергию) принято измерять в джоулях (Дж). На практике же, в большинстве случаев пользуются не энергией излучения, а мощностью излучения. Мощность излучения, характеризующая количество энергии, излучаемой в единицу времени, называется потоком излучения или лучистым потоком:

$$\Phi_e = \frac{dQ_e}{dt}, \quad (1.2)$$

где dt – время, в течении которого излучение может рассматриваться равномерным;

Q – энергия, излучаемая за время dt .

Единицей измерения лучистого потока является 1 Ватт.

Излучения могут быть монохроматическими (простыми) и сложными. Простые излучения представляют собой излучения одной длины волны. Сложные излучения состоят из совокупности монохроматических излучений, которые могут образовывать линейчатые спектры (рис. 1.2) или сплошные спектры (рис. 1.3).

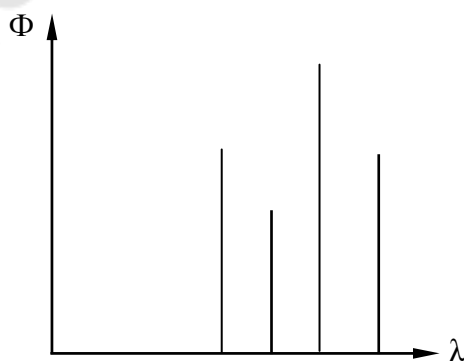


Рис.1.2. Линейчатые спектры

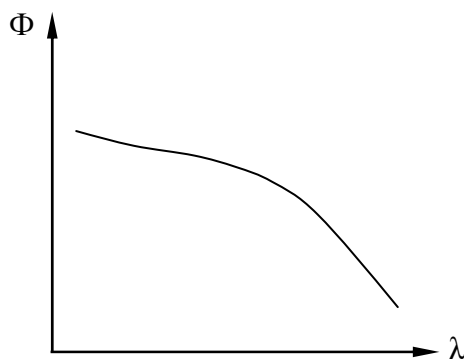


Рис.1.3. Сплошные спектры

Линейчатые спектры характерны для разрядных источников света. Сплошные спектры – для источников теплового излучения (лампы накаливания).

1.4. Основные световые величины

Основными световыми величинами являются:

- световой поток;
- сила света;
- освещенность (светимость);
- яркость;
- световая отдача;
- цветность излучения.

Световой поток (Φ) – это мощность лучистой энергии, оцениваемая по производимому ею световому ощущению, которое испытывает глаз человека. В отличие от лучистого потока световой поток соответствует видимому излучению.

Измеряется световой поток в люменах (Лм) – это скалярная величина.

1 Лм = 1/683 Вт при излучении длиной волны 550 нм.

1 Лм – это поток, излучаемый абсолютно черным телом с площадью 0,5305 мм² при температуре затвердевания платины 2042° К.

Абсолютно черное тело – это тело не обладающее отражающей способностью.

Сравнительная оценка светового потока:

световой поток, падающий на 1 м² поверхности земли летом при солнечном освещении равен порядка 10 000 лм;

световой поток лампы накаливания мощностью 100 Вт на напряжение 220 В в среднем составляет 1 000 лм;

световой поток обычной лампы накаливания на 3 В карманного фонаря – до 10 лм.

В практической деятельности световой поток является одним из основных параметров, характеризующий источник света. Именно светотехническими методами расчета определяется необходимое значение светового потока (расчетное значение), по которому и выбирается установленная мощность источника света.

Сила света (I) – это пространственная плотность светового потока, т. е. отношение светового потока ($d\Phi$) к величине телесного (пространственного) угла ($d\omega$), в котом он равномерно распределяется:

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

В большинстве случаев на практике пользуются средней силы света:

$$I_{\text{ср}} = \frac{\Phi}{\omega}. \quad (1.4)$$

Телесный угол (ω) измеряется отношением площади (S), которую он вырезает на поверхности сферы, описанной из его вершины, к квадрату радиуса (r) этой сферы:

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

На рисунке 1.4 приведено изображение, поясняющее понятие телесный угол.

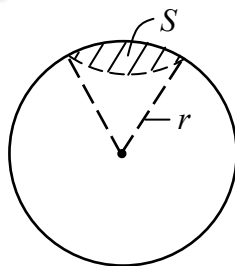


Рис. 1.4. К понятию о телесном угле

Единица измерения телесного угла – стерадиан (ср). 1 ср – это пространственный угол, который, имея вершину в центре сферы, вырезает на ее поверхности участок, равный квадрату радиуса ($S = r^2$).

Сила света до 1967г. измерялась в свечах (св), а после в канделах (кд):

$$1 \text{ св} = 1 \text{ кд} = 1 \text{ лм/ср}.$$

Одна кандела это $1/60$ силы света, испускаемого абсолютно черным телом площадью 1 см^2 при температуре затвердевания платины.

Сила света – векторная величина. В практической деятельности используется в виде таблиц или кривых распределения силы света в различных направлениях пространства. На рисунке 1.5 в качестве примера приведена кривая распределения силы света.

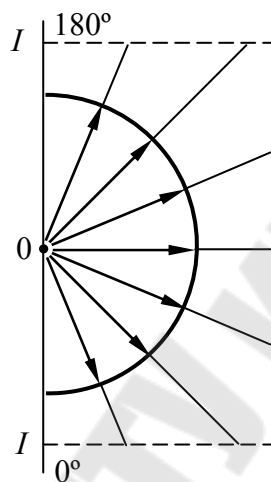


Рис. 1.5. Кривая распределения силы света

Такое распределение силы света используется для характеристики светораспределения осветительных приборов. Осветительные приборы могут быть ближнего (светильники) и дальнего действия (прожектора).

Существуют в светотехнике 7 типовых кривых сил света и каждый из существующих светильников можно отнести к той или иной кривой силе света.

Освещенность (E) – это количественная оценка освещения какой либо поверхности. Это поверхностная плотность светового потока, т.е. отношение светового потока, падающего на поверхность, к площади этой поверхности. Освещенность элемента поверхности (dS_2) в заданной точке определяется выражением:

$$E = \frac{d\Phi}{dS_2}. \quad (1.6)$$

Поверхности конечных размеров характеризуются средней освещенностью поверхности:

$$E_{\text{ср}} = \frac{\Phi}{S_2}, \quad (1.7)$$

где S_2 – площадь освещаемой поверхности, м^2 .

Единицей измерения освещенности является люкс (лк) (в переводе с латинского означает свет солнца).

Освещенность в один люкс равна освещенности поверхности площадью в 1 м^2 , по которой равномерно распределяется световой поток в 1 лм ($1 \text{ лк} = 1 \text{ лм} \cdot \text{м}^{-2}$).

В практической деятельности освещенность в виде нормируемых значений в качестве одной из основных исходных данных используется при проектировании осветительных установок, в светотехнических расчетах при определении установленной мощности источников света. Величина фактической освещенности может быть рассчитана также для уже спроектированной системы освещения.

Важным при решении светотехнических и других инженерных задач является аналитическая связь величины освещенности с силой света. Подставим в 1.7 соответственно следующие выражения (см. рис. 1.6):

$$\Phi = I \cdot \omega; \quad S_2 = \frac{S}{\cos \alpha}; \quad \omega = \frac{S}{r^2}.$$

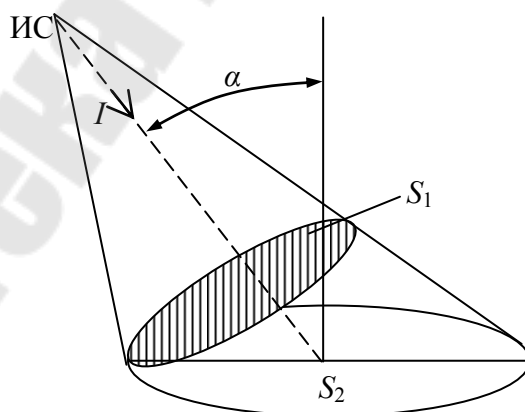


Рис. 1.6. К определению аналитической связи между освещенностью и силой света

И получим следующую аналитическую связь между освещенностью и силой света:

$$E = \frac{\Phi}{S_2} = \frac{I \cdot \omega}{S_2} = \frac{I \cdot \omega \cdot \cos \alpha}{S} = \frac{I \cdot S \cdot \cos \alpha}{S \cdot r^2} = \frac{I \cdot \cos \alpha}{r^2}. \quad (1.8)$$

Один из основных светотехнических методов – точечный метод расчета, построен на связи между светотехническими величинами и силой света.

Светимость (M) – это плотность светового потока, излучаемого светящейся поверхностью. Для элемента светящейся поверхности светимость в дифференциальной форме может быть представлена следующим выражением:

$$M = \frac{d\Phi}{dS_1}. \quad (1.9)$$

Среднее значение светимости для поверхности конечных размеров может быть вычислено по формуле:

$$M_{\text{ср}} = \frac{\Phi}{S_1}, \quad (1.10)$$

где S_1 – площадь светящейся поверхности, м^2 .

Собственного названия единицы измерения светимость не имеет. В практической деятельности эта световая величина характеризует источник света.

Яркость (L) – это поверхностная плотность силы света в заданном направлении, представляющая собой отношение силы света к площади проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную к тому же направлению. В дифференциальной форме может быть представлена следующим выражением:

$$L = \frac{dI}{dS_1 \cdot \cos \alpha}. \quad (1.11)$$

Среднее значение яркости для конечных размеров светящейся поверхности определяется по формуле:

$$L_{\text{ср}} = \frac{I}{S_1 \cdot \cos \alpha}. \quad (1.12)$$

На рис. 1.7 приведены пояснения к понятию яркость.

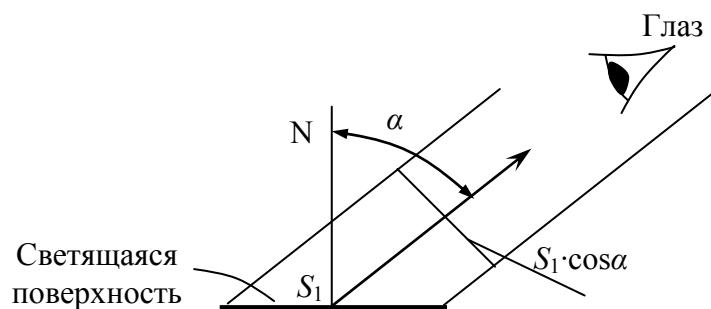


Рис. 1.7. К пояснению понятия яркости

Единица яркости ($\text{кд}/\text{м}^2$) собственного названия не имеет. До 1967г. измерялась в Нитах.

Световая величина яркость характеризует источники света и осветительные приборы.

Световая отдача ($\text{Лм}/\text{Вт}$) – одна из величин, характеризующих экономичность источников света, которая, например, равна для:

керосиновой лампы – до $1 \text{ Лм}/\text{Вт}$;

ламп накаливания с графитовым стержнем $2 \dots 3 \text{ Лм}/\text{Вт}$;

ламп накаливания общего назначения с вольфрамовой нитью до $25 \text{ Лм}/\text{Вт}$;

разрядных ламп низкого давления до $70 \text{ Лм}/\text{Вт}$;

разрядных ламп высокого давления $70 \dots 140 \text{ Лм}/\text{Вт}$;

светодиодных источников света $40 \dots 100 \text{ Лм}/\text{Вт}$.

Цветность излучения. Если световой поток разложить с помощью призмы на монохроматические излучения, то каждый из них, как было показано Ньютоном, будет вызывать ощущение того или иного цвета. Конкретная длина волны излучения (Нм) соответствует определенному ощущению цвета:

760-620 – красный;

620-590 – оранжевый;

590-560 – желтый;

560-500 – зеленый;

500-480 – голубой;

480-450 – синий;

450-380 – фиолетовый.

Цветность излучения играет важную роль при обеспечении требований к цветопередаче, имеющих место при проектировании осветительной установки.

1.5. Световые свойства материалов

Световой поток (Φ), падая на поверхность тела, частично отражается ($\Phi_p = \rho \cdot \Phi$), частично поглощается ($\Phi_\alpha = \alpha \cdot \Phi$) и частично пропускается ($\Phi_\tau = \tau \cdot \Phi$). ρ , α , τ – соответственно коэффициенты отражения, поглощения и пропускания светового потока.

В соответствии с законом сохранения энергии:

$$\Phi = \Phi_p + \Phi_\alpha + \Phi_\tau. \quad (1.13)$$

Тела, в которых происходит поглощение лучистой энергии являются приемниками лучистой энергии. (растения, глаз, фотоэлемент и др.).

Каждое тело, вещество, характеризуется определенными коэффициентами отражения, пропускания и поглощения и в зависимости от этих величин может рассматриваться направленное отражение (пропускание), диффузное отражение или пропускание лучистой (световой) энергии.

В природе не существует идеальных зеркальных (направленных) или диффузно отражающих (пропускающих) свет материалов. У реальных материалов наблюдается наличие обеих разновидностей отражения и пропускания одновременно, а именно направленно-диффузное отражение или пропускание.

Световые свойства материалов играют важную роль при разработке осветительной техники – осветительных приборов с необходимыми отражающими и рассеивающими характеристиками.

1.6. Основные понятия и определения

Принято различать **естественное, искусственное и совмещенное** (естественное и искусственное) освещение.

Естественное освещение – освещение помещений, открытых пространств солнечным светом (прямым или отраженным).

Искусственное освещение – это освещение не естественным, солнечным светом, в основном получаемое электрическим освещением.

Искусственное освещение подразделяется на **рабочее, аварийное, охранное и дежурное**.

Рабочее освещение – освещение, обеспечивающее нормируемые осветительные условия (освещенность, качество освещения) в помещениях и в местах производства работ вне зданий.

Аварийное освещение может быть освещением безопасности и эвакуационным.

Освещение безопасности – освещение для продолжения работы при аварийном отключении рабочего освещения.

Эвакуационное освещение – освещение для эвакуации людей из помещения при аварийном отключении рабочего освещения.

Охранное освещение – освещение вдоль границ территорий, охраняемых в ночное время.

Дежурное освещение – освещение в нерабочее время.

Искусственное освещение может быть двух систем – **общее освещение** и **комбинированное освещение**.

Общее освещение – освещение, при котором светильники размещаются в верхней зоне помещения равномерно (**общее равномерное освещение**) или применительно к расположению оборудования (**общее локализованное освещение**).

Комбинированное освещение – освещение, при котором к общему освещению добавляется местное.

Местное освещение – освещение, дополнительное к общему, создаваемое светильниками, концентрирующими световой поток непосредственно на рабочих местах.

Другие понятия и определения даются одновременно с изучением соответствующих материалов разделов курса.

2. ЭЛЕМЕНТЫ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК – ИСТОЧНИКИ СВЕТА И ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Элементами осветительных установок являются:

- источники света;
- осветительные приборы ближнего и дальнего действия;
- электрическая осветительная сеть, состоящая из магистральных и групповых щитков освещения, а также проводов, кабелей и шинопроводов.

Основными, специфическими элементами осветительных установок являются источники света и осветительные приборы.

Источники света

При существующем разнообразии источников света все они могут быть классифицированы на:

- 1) источники света, работающие на принципе теплового излучения (лампы накаливания – ЛН, галогенные лампы – КГ);
- 2) газоразрядные лампы низкого давления (люминесцентные лампы – ЛЛ);
- 3) газоразрядные лампы высокого давления (дуговые ртутные люминесцентные лампы – ДРЛ, дуговые ртутные металлогалогенные лампы – ДРИ, дуговые натриевые лампы – ДНаТ и др.);
- 4) светодиодные источники света.

2.1. Лампы накаливания

Работа ламп накаливания основана на принципе теплового излучения.

2.1.1. Основы теории теплового излучения

Под тепловым излучением понимается всякое излучение, возникающее в результате теплового движения (вращающего или колебательного) молекул и атомов излучающего тела. При этом в самом излучающем теле не происходит никаких изменений кроме теплового состояния.

При повышении температуры излучателя увеличивается энергия движения заряженных частиц, следствием чего является рост лучистого потока, излучаемого телом. Повышение температуры тела сопровождается ростом средней величины кванта (минимальной порции энергии), а, следовательно, изменением спектрального состава излучения.

Видимые излучения возникают только при больших значениях кинетической энергии движущихся частиц, т.е. лишь при высокой температуре излучающего тела.

Теория теплового излучения хорошо изучена применительно к абсолютно черному телу.

Основным законом теории теплового излучения является закон Стефана-Больцмана, в соответствии с которым величина лучистого потока Φ_e пропорциональна температуре излучателя в 4-й степени.

$$\Phi_e = \sigma \cdot T^4, \quad (2.1)$$

где $\sigma = 5,672 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{К}^{-4}$;

T – абсолютная температура тела, К.

Для оценки теплового излучения с т.з. вызываемого им светового ощущения пользуются понятием световой эффективности, определяющей долю светового потока Φ в общем потоке излучения Φ_e :

$$K_3 = \frac{\Phi}{\Phi_e} \cdot 100 \%. \quad (2.2)$$

Максимального значения световая эффективность достигает при температуре абсолютно черного тела около 6500°К . При этом ее величина составляет $K_3 = 14,5 \%$. Остальные $85,5 \%$ излучений приходятся на невидимые излучения.

Реальные излучатели, применяемые для изготовления ламп накаливания, имеют температуру плавления 3660°К (вольфрам). Рабочая температура вольфрама 2870°К , что соответствует световой эффективности 2-3 %. Несмотря на низкую световую эффективность лампы накаливания еще успешно применяются для целей освещения.

2.1.2. Конструкция и типы ламп накаливания

Лампа накаливания состоит из стеклянной колбы, в которой помещена спиральная нить из вольфрама, и металлического цоколя для осуществления токоподвода.

При изготовлении лампы из колбы откачивается воздух, создается вакуум. Это исключает окислительные процессы и способствует повышению температуры нити накала. Для уменьшения распыления вольфрама, а также повышения рабочей температуры тела накала лампа может наполняться инертным газом. Нормально давление газа в лампе не превышает 600 мм. рт. ст.

Недостатком газовой среды является то, что она приводит к дополнительным тепловым потерям на теплопроводность и конвекцию.

Для наполнения ламп используется аргон с добавлением азота (14...16 %). В последнее время – криптон с азотом (характеризуется низкими тепловыми потерями). Размеры колбы выбираются с т.з. температуры его нагрева.

В некоторых случаях для повышения эффективности ламп спирали выполняются двойными (биспиральные).

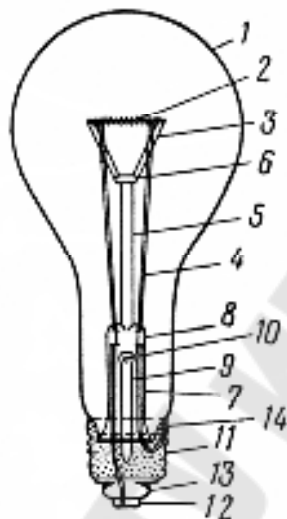


Рис.2.1. Лампа накаливания

Лампа накаливания состоит (рис. 2.1) из стеклянной колбы 1; тела накала 2, выполненного из вольфрамовой проволоки; молибденовых крючков 3, которые придают определенную форму телу накала и препятствуют его провисанию; электродов из никеля 4, служащих для подачи напряжения на тело накала; стеклянного стержня (штабика) 5, в верхней части которого имеется утолщение (линзочка) 6, куда впаяны крючки; полого стеклянного цилиндра (штенгель) 7 с опресованной верхней частью (лопаткой) 8, в которой соединены штабик, электроды и откачная трубка 9 с отверстием 10; цоколя, состоящего из металлического стакана с резьбой 11, к которому припаян один из электродов, контактной шайбы 12, с припаянным вторым электродом. Контактная шайба крепится к стакану стекломассой 13, цоколь соединен с колбой специальной мастикой 14.

Осветительные лампы различают по геометрическим размерам, наполнению колбы (вакуумные, газонаполненные), форме тела накала (прямолинейное, спиральное, биспиральное).

Геометрические размеры зависят от мощности лампы. Цоколь выпускают трех размеров: 14 мм, 27 мм (25-250 Вт) и 40 мм (> 300 Вт).

Наполнение колбы определяет величину рабочей температуры тела накала. У вакуумных ламп воздух откачан до остаточного давления $1,33 \cdot 10^{-3}$ Па, рабочая температура тела накала 2400 – 2600°К. Наличие в колбе тяжелых инертных газов и более высокое давление позволяют повысить температуру тела накала до 2700 (аргон) – 2870 (криптон)°К без увеличения распыления материала тела накала. Азот служит изолятором – исключает электрический пробой между витками спирали, аргон снижает потери энергии на нагревание газа и колбы. Криптон и ксенон как теплоизоляторы эффективнее аргона, но они дороги.

Форма тела накала также влияет на скорость испарения вольфрама и тепловые потери. Спиральное тело накала менее формоустойчиво, чем прямолинейное, однако позволяет при том же сроке службы повысить температуру нити накала и снизить тепловые потери за счет уменьшения длины и числа крючков, поддерживающих ее. Еще эффективнее по этим показателям биспиральное тело накала.

В таблице 2.1 приведен энергетический баланс лампы накаливания общего назначения мощностью 100 Вт на напряжение 220 В.

Таблица 2.1

Энергетический баланс лампы мощностью 100 Вт

Распределение энергии	Тип лампы			
	Вакуумные	Газонаполненные со спиральной нитью	Биспиральные, газонаполненные	Биспиральные с криптоновой смесью
Излучение в видимой части спектра	7	10	12	13
Невидимое излучение	86	68	74	76
Потери	7	22	14	11

В маркировке ламп общего назначения по ГОСТ 2239-70 на первом месте указывается одна из следующих букв:

В – вакуумные (мощностью до 150 Вт);

Г – газонаполненные моноспиральные (аргоновые) (150-1500 Вт);

Б – биспиральные аргоновые (40 – 200 Вт);

или две буквы БК – биспиральные с криптоновым наполнителем (40 – 100 Вт).

Далее указываются цифры – напряжение в «В» и мощность в «Вт». Например, Б 220-245-100.

В старом обозначении, в соответствии с ГОСТ-2239-60 вначале обозначения указывалась буква «Н».

Отечественной промышленностью выпускаются лампы в прозрачных, матовых, молочных колбах, а также с зеркальным (лампа-светильник) и диффузным отражением.

В лампах с зеркальным покрытием достигается наибольшее увеличение осевой силы света. Различают лампы с зеркальным покрытием концентрированного (ЗК), среднего (ЗС) и широкого светораспределения (ЗШ). Такие лампы используются для освещения производственных помещений с тяжелыми условиями окружающей среды. Причем лампы ЗК – для освещения высоких производственных помещений, а лампы ЗС и ЗШ для освещения цехов обычной высоты (до 5-6 м).

Лампы с диффузным отражающим слоем имеют обозначение: ДБ и ДБК.

В таблице 2.2 приведены основные параметры ламп накаливания.

Таблица 2.2

Значения светового потока ламп накаливания на напряжение 220 В, лм

Тип ламп	Мощность, Вт												
	15	25	40	60	75	100	150	200	300	500	750	1000	1500
В	120 (8)	220 (8,8)											
Б			430 (10,8)	730 (12,2)	960 (12,8)	1380 (13,8)	220 (14,8)	3150 (15,7)					
БК			475 (11,9)	800 (13,3)	1030 (13,7)	1500 (15,0)							
Г							2090 (13,9)	2950 (14,7)	4850 (16,1)	8400 (16,1)	13100 (17,5)	18800 (18,8)	29000 (20,0)

Примечания:

1. В – вакуумные,
Б – биспиральные,
БК – биспиральные с криптовой смесью,
Г – газонаполненные;
2. Число в скобках под числом значения светового потока характеризует световую отдачу лампы в лм/Вт;
3. Лампы мощностью до 300 Вт включительно выпускается с цоколем Е-27, с 300 Вт и выше – с цоколем Е-40

2.1.3. Галогенные лампы накаливания

В процессе горения лампы происходит испарение вольфрама, что приводит к постепенному уменьшению ее диаметра. Распыленные частицы вольфрама, оседая на внутренней поверхности колбы лампы, образуют темный налет – снижается световой поток лампы.

С целью повышения эффективности ламп накаливания были разработаны лампы с вольфрамово-йодным циклом (галогенные лампы накаливания).

Галогенные лампы общего назначения представляют собой стеклянную колбу из термостойкого стекла (кварца) диаметром в зависимости от мощности от 5 до 30 мм и длиной от 130 до 700 мм.

Нить лампы строго располагается по оси цилиндра. Из колбы выкачивается воздух и вводится инертный газ – аргон или криптон с добавлением дозированного количества йода.

Пары йода, образующиеся за счет высоких температур, перемещаются к стенкам колбы и образуют с частицами вольфрама, осевшими на колбе йодистый вольфрам.

Йодистый вольфрам остается в парообразном состоянии и постепенно за счет конвекции диффундирует к нити лампы. В зоне высоких температур порядка 1200°С происходит процесс разложения йодистого вольфрама, частицы вольфрама оседают на нити лампы, а атомы йода вновь возвращаются к стенкам колбы. Так образуется непрерывный йодно-вольфрамовый цикл галогенной ЛН.

Обозначаются галогенные лампы: КГ220-1500 – кварцевая галогенная на напряжение 220 В, номинальной мощностью 1500 Вт.

Выпускаются лампы на 220 В мощностью 500, 1000, 1500, 2000 Вт, 5, 10 и 20 кВт.

Эти галогенные лампы применяются для освещения открытых пространств в прожекторах.

В таблице 2.3 приведены основные параметры галогенных ламп.

Таблица 2.3

Параметры галогенных ламп накаливания типа КГ на напряжение 220 В

Тип лампы	Мощность, Вт	Световой по- ток, клм	Световая отда- ча, лм/Вт	Средний срок службы, час	Размеры лампы, мм	
					диаметр колбы	длина
КГ220-425	425	6,6	15,5	500	8	280
КГ220-500-1	500	14	28,0	150	11	132
КГ220-1000-4	1000	27	27,0	420	11	180
КГ220-1000-5	1000	22	22,0	2000	10,7	189
КГ220-1500	1500	33	22,0	2000	10,7	252
КГ220-2000-3	2000	54,9	27,5	450	11	256
КГ220-2000-4	2000	44	22,0	2000	10,7	335
КГ220-5000	5000	125	25,0	2000	20	520
КГ220-230-5000	5000	110	22,0	3000	20,5	520
КГ220-10000	10000	260	26,0	2000	27	675
КГ220-230-10000	10000	220	22,0	3000	27	675
КГ240-1000	1000	22	22,0	2000	12	198
КГ240-1500	1500	33	22,0	2000	12	254
КГ240-2000	2000	44	22,0	2000	12	330
КГ240-2000-1	2000	44	22,0	200	12	334
КГ240-20000	20000	440	-	-	-	-

2.1.4. Световые и электрические характеристики ламп накаливания

Электрическими и световыми характеристиками ламп накаливания являются:

- номинальное напряжение;
- номинальная мощность;
- световой поток;
- световая отдача;
- цветность излучения;
- срок службы (средняя продолжительность горения).

Номинальное напряжение

Выпускаются практически на все стандартные величины напряжений до 220 В включительно.

Номинальная мощность

Начиная с номинальной мощности лампы 15 Вт выпускаются на 15, 25, 30, 40, 60, 75, 100, 150, 200, 300, 500, 1000, 1500, 2000.

Световой поток

Световой поток ламп находится в прямой зависимости от электрической мощности и температуры тела накала.

Например, световой поток обычной лампы накаливания 1500 Вт на 220 В – 29 тыс. Лм, а галогенной лампы такой же мощности и на то же напряжение – 33 тыс. Лм.

Световая отдача

Световая отдача обычных ламп накаливания до 20 Лм/Вт, галогенных до 30 Лм/Вт

Лампы накаливания большей мощности, а также источники света низкого напряжения с телом накала большего диаметра, допускающим повышенную температуру нагрева, имеют более высокую световую отдачу.

Цветность излучения

Цветность излучения зависит от температуры тела накала. При номинальном напряжении в спектре излучения обычных ламп накаливания преобладает видимое излучение в желтой и красной частях спектра при недостатке его в синей и фиолетовой частях. Поэтому излучение ламп накаливания значительно отличается от дневного света, что не позволяет их эффективно использовать для освещения работ, связанных с необходимостью точного распознавания цветов (легкая текстильная, обувная, меховая и т.д).

Срок службы

Срок службы определяется в первую очередь распылением вольфрама с тела накала. Для большинства ламп накаливания средняя продолжительность горения составляет – 1000 ч.

2.1.5. Зависимость основных характеристик ламп накаливания от изменения напряжения питающей сети

Изменения напряжения в сети в значительной степени влияет на основные характеристики ламп.

Опытным путем были установлены следующие зависимости:

$$\text{для светового потока} - \frac{\Phi}{\Phi_H} = \left(\frac{U}{U_H} \right)^n, \quad (2.3)$$

где $n = 2,6 \dots 3,6$;

$$\text{для потребляемой мощности} - \frac{P}{P_H} = \left(\frac{U}{U_H} \right)^n, \quad (2.4)$$

где $n = 1,6$;

$$\text{для срока службы} - \frac{T}{T_H} = \left(\frac{U}{U_H} \right)^n, \quad (2.5)$$

где $n = -11 \dots -14$.

При увеличении напряжения на 10 % от U_H в среднем срок службы ламп сокращается в 3 раза.

При снижении напряжения на 10 % световой поток уменьшается в среднем в 1,4 раза. ГОСТ-ом ранее было установлено допустимое отклонение напряжения: $-2,5 \dots +2,5 \%$, в настоящее время: $-5 \dots +5 \%$.

При эксплуатации осветительных установок необходимо стремиться к тому, чтобы фактическое напряжение в сети незначительно отличалось от номинального.

2.1.6. Достоинства и недостатки ламп накаливания

Достоинства ламп накаливания:

- универсальность применения, т.е. успешно могут работать как на переменном токе, так и на постоянном токе;
- непосредственное включение их в сеть без дополнительных устройств;
- зажигаются практически мгновенно;
- компактность;

- невысокая стоимость;
 - простота изготовления в широком диапазоне мощностей от долей Вт до десятков кВт;
 - незначительное снижения светового потока к концу срока службы (до 15 %);
 - работоспособность при значительных отклонениях напряжения сети от номинального;
 - нормально могут работать в любых условиях окружающей среды;
 - отсутствие токсичности.
- Недостатки ламп накаливания:
- низкая световая отдача – до 20...25 %; световой КПД составляет не более 2...3 %. Если учесть, что на освещение расходуется до 12 % от всей потребляемой электрической энергии, то потери весьма значительны;
 - спектр излучения значительно отличается от спектра естественного дневного света (преобладают излучения в желто-красной части спектра);
 - весьма ограниченный срок службы – 1000 ч, минимальный из всех существующих источников света.

2.2. Газоразрядные источники света

К газоразрядным источникам света относятся люминесцентные лампы (ЛЛ) низкого давления (лампы дневного света) и газоразрядные лампы высокого давления – дуговые ртутные лампы (ДРЛ).

2.2.1. Процесс электрического разряда в газах и парах металлов

Рассмотрим газовый промежуток, заключенный между двумя электродами, к которым подведено напряжение.

В объеме любого газа всегда существуют свободные электроны, которые появляются под воздействием внешнего ионизатора (солнечная радиация, космические лучи).

Внешним ионизатором является и нить накала, вокруг которой под действием термоэлектронной эмиссии появляются свободные электроны.

При достаточном напряжении между электродами электроны начинают двигаться к аноду, совершая при этом на своем пути ударную ионизацию, т.е. будут выбивать из атомов или молекул газа еще свободные электроны. В результате возникает лавина электронов и между электродами появляется электрический ток.

Образовавшиеся в результате ударной ионизации положительно заряженные ионы перемещаются к катоду, где нейтрализуются. Скорость перемещения ионов значительно меньше, чем электронов, поскольку массы их несоизмеримы. Не успевшие нейтрализоваться ионы образуют положительные объемные заряды, которые складываясь с электрическим полем внешнего источника увеличивают напряженность поля вблизи катода. Кинетическая энергия ионов в этом промежутке возрастает и при некотором напряжении источника становится достаточной для совершения работы по выбиванию из поверхности катода новых (вторичных) электронов.

С появлением вторичных электронов в газовом промежутке возникает самостоятельный разряд, т.е. разряд независимый от внешнего ионизатора. Число лавин будет непрерывно возрастать и газ в промежутке перейдет в состояние плазмы, характеризующейся большой плотностью зарядов обоих знаков.

Усиленная бомбардировка катода ионами разогревает катод, возникает термоэлектронная эмиссия, что приводит к еще большему увеличению вторичных электронов.

В зависимости от мощности источника и давления газа могут образовываться различные формы разрядов – тлеющий и дуговой.

Тлеющий разряд характеризуется не большими токами до 10 мА и значительным падением напряжения в газовом промежутке. С переходом тлеющего разряда в дуговой резко падает напряжение на газовом промежутке до 10 В, а ток может возрасти до значения, равного току короткого замыкания источника, если его не ограничить балластным сопротивлением.

Как тлеющий, так и дуговой разряды сопровождаются излучениями и используются в газоразрядных источниках света. Область тлеющего разряда применяется в высоковольтных газосветных трубках для рекламного освещения, а область дугового разряда – в разрядных источниках света.

2.2.2. Механизм возникновения излучения в газе

При соударении электронов лавины с атомами газа в зависимости от величины приобретенной энергии может возникнуть упругий удар, возбуждение или ионизация.

Состояние возбуждения атомов характеризуется переходом одного или нескольких электронов атома со своих стационарных энергетических уровней-орбит на более удаленные от ядра энергетические уровни. Такое состояние атома является неустойчивым и электроны

самостоятельно возвращаются на свои первоначальные орбиты, испуская при этом кванты энергии – фотоны.

Для каждого вещества существуют вполне определенные энергетические уровни, с которых возможен возврат электронов на стационарные орбиты. Эти уровни называются резонансными а возникающие при этом излучения - резонансными излучениями с определенными длинами волн. По этой причине в газоразрядных источниках света излучение имеет, как правило, линейчатый спектр, а не сплошной как у ламп накаливания.

При увеличении давления газа и плотности тока большую роль начинают играть процессы ступенчатого возбуждения, когда соударяются электроны с уже возбужденными атомами. Это сопровождается переходом возбужденного атома на еще более высокие уровни. Переход в этом случае атома в нейтральное состояние происходит также ступенями, энергия фотона уменьшается и соответственно увеличивается длина волны излучения. Эти излучения называются нерезонансными. При этом расширяются линии излучения, увеличивается интенсивность и появляется сплошной фон излучения. Линейчатый спектр излучения сглаживается и смещается в длинноволновую часть спектра.

С точки зрения эффективности преобразования электрической энергии в лучистое излучение существуют две области, благоприятных для выхода излучений: область низких давлений и малых плотностей тока, в которых велик выход резонансных излучений (ЛЛ дневного света) и область высоких давлений и больших плотностей тока, в которых велик выход нерезонансных излучений (разрядные лампы высокого давления).

2.2.3. Люминесцентные лампы низкого давления

Люминесцентные лампы низкого давления общего назначения представляют собой стеклянную колбу, внутренняя поверхность которой покрыта слоем твердого кристаллического люминофора (рис. 2.2).

Электроды – биспираль или триспираль, покрыты окисью бария, для облегчения эмиссии электронов с электродов.

Цоколь служит для токоподвода.

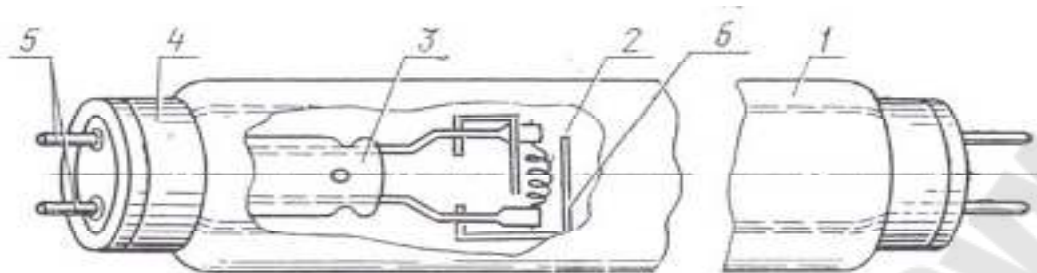


Рис. 2.2. Люминесцентная лампа низкого давления

Люминесцентная лампа состоит из стеклянной трубки (колбы 1), внутренняя поверхность которой покрыта слоем люминофора. По концам трубки укреплены биспиральные вольфрамовые электроды 2, концы которых выведены через стеклянную ножку 3 к цоколю 4 и штырькам 5. По обе стороны спирали установлены защитные экраны 6.

Лампы общего назначения имеют колбу длиной от 40 см до 1,5 м и диаметром от 2,5 см до 4,5 см.

При изготовлении лампы из колбы выкачивается воздух и закачивается инертный газ – аргон под давлением 3 мм.рт.ст. Аргон применяется для уменьшения распыления вольфрама. В колбу вводится дозированное количество ртути.

Первоначально разряд осуществляется в аргоне. Вся ртуть переходит в парообразное состояние и разряд осуществляется в парах ртути. При переходе всей ртути в парообразное состояние давление в лампе увеличивается всего на 10 % от первоначального, создается область низкого давления и малых плотностей тока.

Преобразование электрической энергии в световые имеет две стадии:

- электрический разряд в парах ртути сопровождается резонансными излучениями с длинами волн 185-254 нм, что соответствует ультрафиолетовой (невидимой) части спектра;

- лучистая энергия излучения ртути, воздействуя на люминофор, преобразуется в световое излучение. Этот процесс называется фотолюминесценцией. В качестве люминофоров применяются различные химические соединения (более 10 разновидностей). Каждому люминофору соответствует свой цвет свечения. В лампах общего назначения используется галофосфат кальция, активированный сурьмой и марганцем.

С учетом фотолюминесценции около 20-22 % электрической энергии, подводимой к лампе расходуется на получение видимых из-

лучений, при этом световая отдача достигает 60-70 лм/Вт, что значительно превышает световую отдачу ламп накаливания.

Отечественной промышленностью выпускаются лампы общего назначения следующих типов:

ЛД – лампы дневного света (цветовая температура соответствует $T = 6500^{\circ}\text{K}$);

ЛДЦ – дневного света с улучшенной цветопередачей;

ЛБ – белого цвета ($T = 3600^{\circ}\text{K}$);

ЛТБ – тепло-белого цвета ($T = 2700^{\circ}\text{K}$);

ЛХБ – холодно-белого цвета ($T = 4850^{\circ}\text{K}$);

ЛТБ (Ц) и ЛХБ (Ц) – с улучшенной цветопередачей для жилых помещений, различаются по тепловой температуре тела накала.

Для всех этих типов ламп характерен недостаток излучений в красной части спектра, но не смотря на это данные источники света по спектральному составу излучений максимально приближены к спектру дневного света, поэтому в помещениях где имеют место требования к цветопередаче в первую очередь необходимо рассматривать возможность применения ЛЛ низкого давления.

Люминесцентные лампы характеризуются:

– световой отдачей до 70 Лм/Вт;

– сроком службы от 12 до 20 тыс.ч.;

– высоким коэффициентом пульсации светового потока ($K_{\text{п}}$), находится в пределах 0,2 – 0,4

$$K_{\text{п}} = \frac{\Phi_{\text{max}} - \Phi_{\text{min}}}{2\Phi_{\text{cp}}} \quad (2.6)$$

Для ламп накаливания $K_{\text{п}} = 0,05 - 0,1$.

При включении ламп одной из задач является устранение или снижения этих пульсаций.

В общем случае, имея в виду и лампы общего назначения и компактные люминесцентные лампы, выпускаются они следующих мощностей:

5, 7, 9, 11, 15, 18, 20, 30, 36, 40, 45, 55, 58, 65, 80 Вт.

Выпускаются также U и W-образные, а также кольцевые и лампы с рефлекторным отражающим слоем ЛБР и ЛХБР.

В таблице 2.4 приведены основные параметры линейных люминесцентных ламп.

Таблица 2.4

Параметры линейных люминесцентных ламп

Мощность, Вт	Номинальный световой поток (световая отдача) ЛЛ типа, лм (лм/Вт)				Средний срок службы, тыс. ч	Размеры, мм, не более	
	ЛБ	ЛДЦ	ЛЕЦ	ЛТБЦЦ		длина	диаметр
15	835 (55,7)	600 (40,0)	-	-	15	451,6	27
16	-	-	830 (51,9)	-		720	27
18	1250 (69,4)	850 (47,2)	850 (47,2)	735 (40,8)	15, 13*	604	26,5
20	1200 (60,0)	850 (42,5)	865 (43,3)	700 (35,0)	15	604	27
30	2180 (72,7)	1500 (50,0)	1400 (46,7)	-		908,8	27
36	2050 (84,7)	2200 (61,1)	2150 (59,7)	-	15, 13*	1213,6	26,5
58	4700 (81,0)	-	3330 (57,4)	-		1514,2	26,5
40	3200 (80,0)	2200 (55,0)	2190 (54,8)	1750 (43,8)	15	1212,6	40
65	4800 (73,8)	3160 (48,6)	3400 (52,3)	-		1514,2	
80	5400 (67,5)	3800 (47,5)	-	-		1514,2	

Примечание. * – меньшее значение соответствует ЛЛ с цветностью ЕЦ

2.2.4. Достоинства и недостатки люминесцентных ламп низкого давления

Достоинства люминесцентных ламп:

- высокая световая отдача до 70-75 Лм/Вт.;
- спектральный состав излучения близок к естественному дневному свету;
- значительный срок службы 12-20 тыс.ч.;
- относительно малая яркость, не ослепляет;
- незначительное влияние на световой поток отклонения напряжения в сети (около 1-1,5 % потока на 1 % напряжения).

Недостатки люминесцентных ламп:

- необходимо для зажигания ламп иметь пускорегулирующую аппаратуру (ПРА) ;
- невозможность переключения ламп, работающих на переменном токе на питание от сети постоянного тока;

– ограниченная единичная мощность и относительно большие размеры (лампы общего назначения);

– инерционность зажигания ламп;

– зависимость характеристик работы ламп к условиям окружающей среды:

а) по температуре:

нормально работают при 20-25°C, при температуре +5°C и ниже значительно снижается световая отдача ламп, и зажигание ламп не всегда гарантируется;

б) по влажности:

– при влажности 80 % и более зажигание ламп затруднено и не гарантируется;

– вредные для зрения пульсации светового потока с частотой 100 Гц при переменном токе частотой 50 Гц. Без специальных мер значительные пульсации могут вызвать стробоскопический эффект, т.е. когда частота пульсаций светового потока совпадает с частотой движущихся, вращающихся предметов и предметы кажутся неподвижными, что может привести к травматизму;

– токсичность источников (в связи с наличием ртути в них) и необходимость решения вопросов их утилизации;

– низкий коэффициент мощности (0,5-0,6). На сегодняшний день все светильники с люминесцентными лампами выпускаются компенсированными. Компенсированная ПРА с четным количеством ламп имеют $\cos\phi$ не ниже 0,92. В компенсированных ПРА с нечетным количеством ламп $\cos\phi$ не ниже 0,85.

– при понижении напряжения в питающей сети на 10 % от U_H зажигание ламп не гарантируется.

– значительное снижение светового потока (до 60 %) к концу срока службы лампы.

2.2.5. Схемы включения люминесцентных ламп

Большинство разрядных ламп, в том числе и люминесцентные лампы низкого давления имеют падающую вольт-амперную характеристику (рис. 2.3), что заставляет включать их в сеть через балластное устройство, ограничивающее ток. В качестве балластного устройства обычно применяют индуктивные устройства (дрессели), которые включают последовательно с лампой. Значительно реже используют емкостные балласты. При работе на постоянном токе используются резисторы.

Многообразие существующих схем включения ламп можно разделить на три группы:

1) Импульсное, стартерное включение, предварительно осуществляется прогрев электродов и далее создается импульс высокого напряжения.

2) Схемы быстрого зажигания, обеспечивающие сильный прогрев электродов, при этом напряжение повышается незначительно (схемы с накальным трансформатором).

3) Схемы мгновенного зажигания, без прогрева электродов, обеспечивающие импульс высокого напряжения.

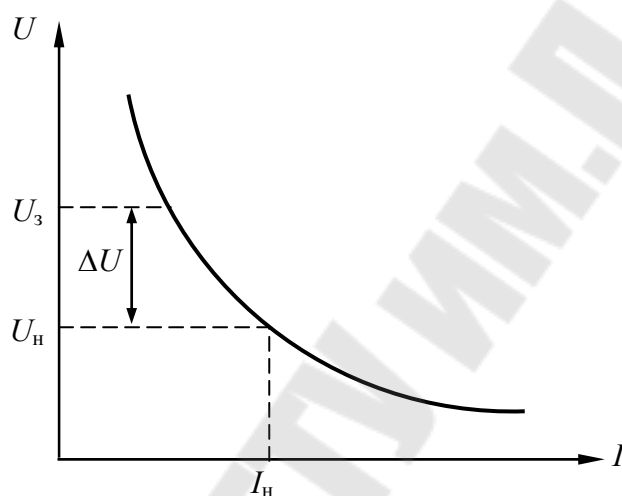


Рис. 2.3. Вольт-амперная характеристика лампы зажигания

Схемы импульсного (стартерного) зажигания (рис. 2.4).

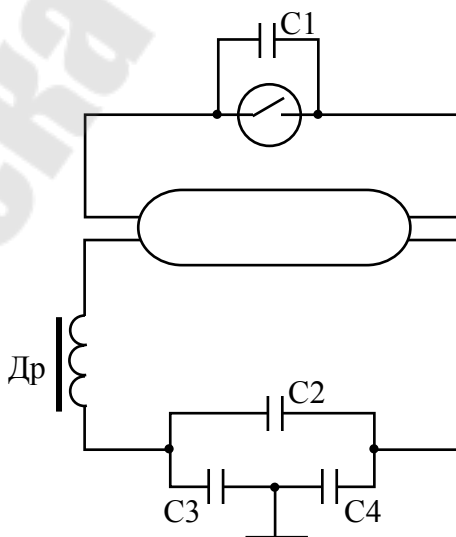


Рис. 2.4

Стартер (СТ) представляет собой неоновую лампочку тлеющего разряда, внутри стеклянного баллона которой имеются нормально разомкнутые биметаллические контакты.

Дроссель (Др) – балластное сопротивление.

При включении лампы в сеть между электродами стартера возникает тлеющий разряд, биметаллические контакты нагреваются и, изгибаясь, замыкаются. В цепи лампы увеличивается ток, который разогревает нити лампы до $800...1000^{\circ}\text{C}$. При замыкании электродов стартера тлеющий разряд в нем прекращается, биметаллические контакты охлаждаются и разрывают цепь тока. При этом запасенная дросселем электромагнитная энергия создает импульс повышенного напряжения, который и обеспечивает зажигание лампы. В случае неуспешного зажигания процесс повторяется. Длительность зажигания лампы до 5 сек. Если лампа зажглась, то напряжение на ней резко падает, в результате стартер шунтируется и тлеющий разряд в нем больше не возникает. Параллельно электродам стартера включен небольшой емкости конденсатор С1 – для стабильности замыкания биметаллических контактов и увеличения срока службы их.

Дроссель Др кроме создания импульса повышенного напряжения предназначен для ограничения тока в цепи лампы. Наличие индуктивного сопротивления в схеме значительно снижает коэффициент мощности в сети (до $0,5...0,6$). Для повышения коэффициента мощности параллельно лампе включается конденсатор С2 (4-6 мкФ в зависимости от мощности лампы).

Конденсаторы С3, С4 (емкость от $0,06$ до $0,5$ мкФ) служат для защиты от электромагнитных излучений – для подавления радиопомех.

Для люминесцентных ламп характерно колебание светового потока с частотой 100 Гц. Коэффициент пульсаций для ламп:

ЛД и ЛДЦ – $0,4$;

ЛБ и ЛТБ – $0,25$.

Для сравнения у ламп накаливания коэффициент пульсаций равен $0,05-0,1$.

Применяемые в люминесцентных лампах люминофоры несколько снижают коэффициент пульсаций за счет послесвечения. Однако эта мера недостаточна. Поэтому применение одиночных ламп вызывает утомление зрения, стробоскопический эффект.

Для устранения этих явлений применяют 2-х-ламповые схемы с искусственным сдвигом фаз (рис. 2.5), или включают одиночные лампы к разным фазам 3-х-фазной электрической сети.

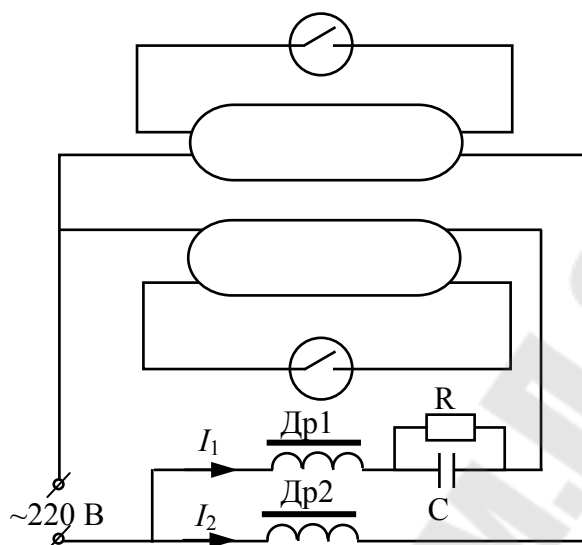


Рис. 2.5. 2-х-ламповая стандартная схема с искусственным сдвигом фаз

С помощью резистора R и конденсатора C добиваются сдвига фаз относительно токов I_1 и I_2 на 90° .

При этом пульсация общего светового потока двух ламп значительно снижается.

Схемы быстрого (безстартерного) зажигания (рис. 2.6).

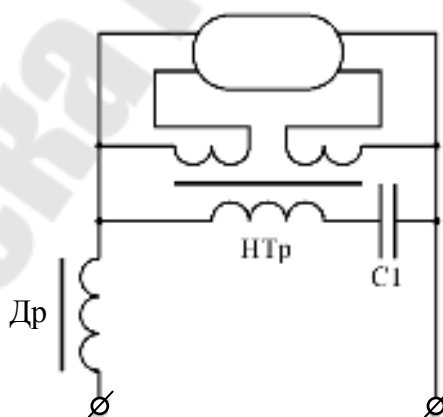


Рис. 2.6. Схема быстрого зажигания

При включении лампы в сеть с помощью накального трансформатора (НТр) происходит сильный разогрев электродов лампы. Обеспечивается зажигание лампы. При возникновении разряда в лампе первичная обмотка трансформатора шунтируется, ток в цепи дросселя

Др увеличивается, возрастает падение напряжения на Др. В результате накал электродов лампы увеличивается. Конденсатор С1 – для повышения коэффициента мощности.

Схемы мгновенного зажигания. Одной из разновидностью таких схем является схема умножения напряжения (рис. 2.7).

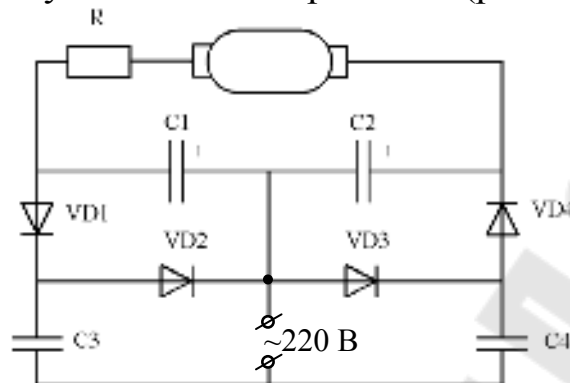


Рис. 2.7. Схема умножения напряжения

Схемы мгновенного зажигания ламп имеют перспективное применение и большинство их основано на высокочастотном зажигании, что максимально приближает работу лампы от сети постоянного тока, что позволяет в свою очередь снизить значительно коэффициент пульсации светового потока.

Элементы схем зажигания ламп, как правило, для удобства монтажа комплектуются в блоки и называются они пускорегулирующими аппаратами (ПРА). ПРА совместно поставляются со светильниками. В большинстве случаев ПРА обозначается следующим образом:



Пример:

2УБК-40/220-ВП-05.

Устройство балластное компенсированное, 2 лампы по 40 Вт на напряжение 220 В, встроенное ПРА пониженного шума, серия разработки 05.

2.3. Газоразрядные лампы высокого давления

Использование области высоких давлений в газоразрядных лампах позволило значительно повысить единичную мощность ламп при малых габаритах светящего тела. Были разработаны газоразрядные лампы высокого давления (рис. 2.8).

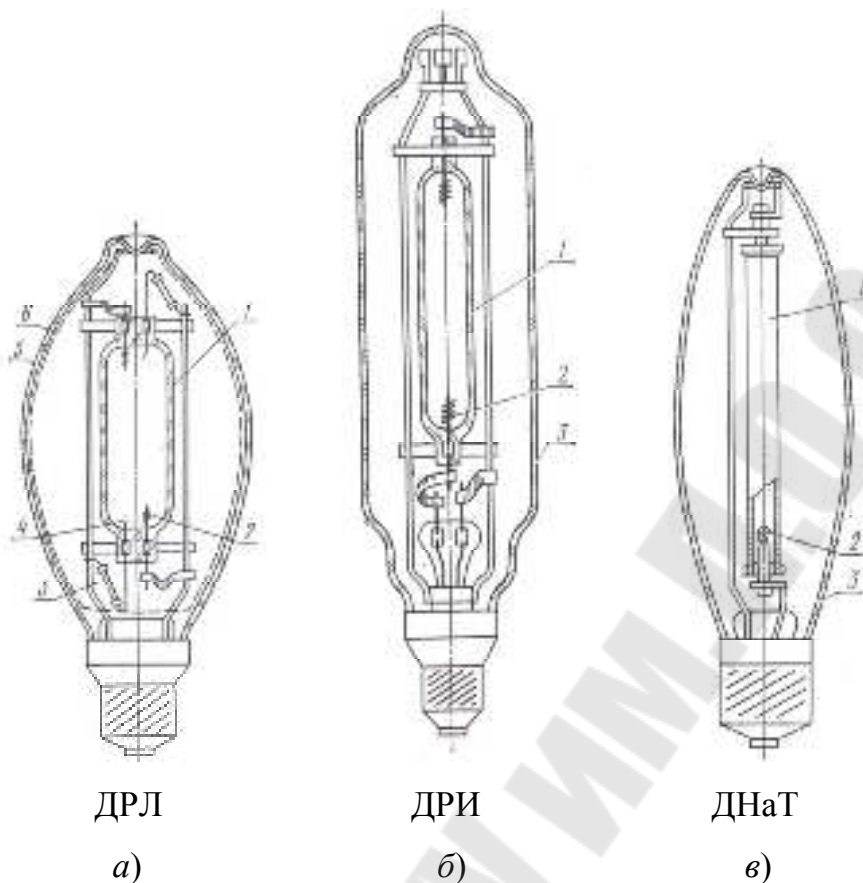


Рис. 2.8. Газоразрядные лампы высокого давления

Дуговая ртутная люминесцентная лампа (ДРЛ) представляет собой колбу грушевидной формы, внутренняя поверхность которой покрыта люминофором. Внутри находится разрядная трубка (кварцевая горелка) 1 (рис. 2.8, а).

Кварцевая горелка выполнена в виде трубки из кварцевого стекла с основными 2 и дополнительными 4 вольфрамовыми электродами. Дополнительные электроды подключены через токоограничивающие резисторы 3. В полости горелки содержатся аргон под давлением в несколько мм. рт. ст. и дозированное количество ртути. Внешняя колба 5 выполнена из термостойкого стекла и изнутри покрыта слоем люминофора 6. Колба заполнена углекислым газом для поддержания устойчивости свойств люминофора.

Вначале лампы выпускались двухэлектродными, в настоящее время только четырехэлектродными.

При подаче напряжения на лампу между основными и зажигающими электродами в аргоне возникает тлеющий разряд, который сопровождается выделением тепла. Постепенно происходит испарение ртути и повышение давления. Когда ртуть вся испарится, давле-

ние в трубке возрастает до 5...10 атм. и в парах ртути возникает дуговой разряд (время зажигания лампы ДРЛ от 3 до 7 мин.). Ультрафиолетовые излучения ртути с помощью люминофора преобразуются в видимые излучения. При кратковременном исчезновении напряжения дуговой разряд в лампе прекращается. Повторное зажигание разогретой лампы затруднено, поскольку давление газа повышено. Необходимо время (до 10 мин.), в течении которого пары ртути сконденсируются и давление упадет.

В спектре суммарного излучения ламп имеет место два максимума – в красной и зеленой части спектра; доминирующим является излучение в зеленой части спектра. В результате при освещении лампами ДРЛ все цвета, кроме зеленого, воспринимаются менее яркими и с искажением по цветности, что ухудшает цветопередачу, в частности цветопередачу человеческого лица.

Световая отдача ламп достигает 70 Лм/Вт, срок службы от 6000 ч до 20000 ч, значительный коэффициент пульсации до 0,6; нормально могут работать в широком диапазоне температур $\pm 40^{\circ}\text{C}$, что дает возможность широко использовать эти источники света для наружного освещения.

Выпускаются лампы ДРЛ мощностью: 50, 80, 125, 250, 400, 700, 1000, 2000, 3500 Вт.

На рис. 2.9 приведены схемы включения ламп ДРЛ.

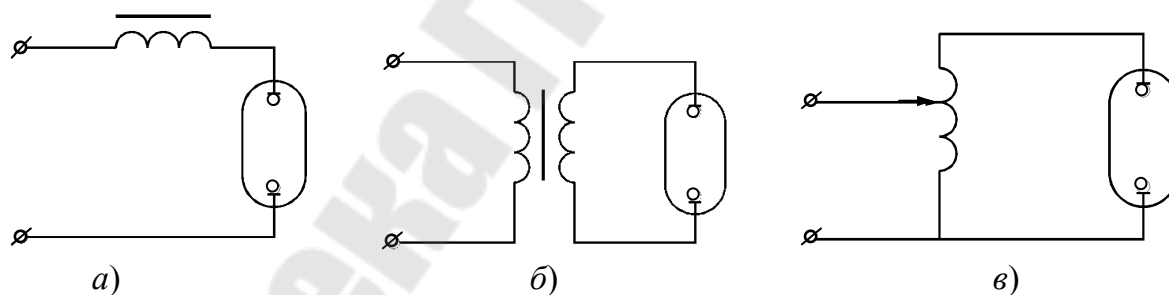


Рис. 2.9. Схемы включения ламп ДРЛ, а) дроссельная схема; б) трансформаторная схема; в) автотрансформаторная схема

Дроссельная схема включения обеспечивает напряжение зажигания, равное напряжению питающей сети, используется при нормальной температуре. Трансформаторная схема применяется при относительно низких температурах – до -30°C , обеспечивает напряжение зажигания 300 В.

Идя по пути совершенствования разрядных ламп высокого давления были разработаны **металлогалогенные лампы ДРИ** с иодида-

ми (рис. 2.8, б), с улучшенной цветопередачей по сравнению с лампами ДРЛ. Внешне лампа ДРИ отличается от лампы ДРЛ тем, что на ее колбе отсутствует люминофор. Для улучшения спектра излучений в разрядную трубку к ртути добавляются иодиды натрия, таллия и индия.

Лампы ДРИ характеризуются высокой световой отдачей – до 100 лм/Вт, но меньшим чем уламп ДРЛ сроком службы – 3000...10000 ч.

В настоящее время освоен выпуск ламп ДРИ мощностью: 125, 175, 250, 400, 700, 1000, 2000, 3000, 3500 Вт.

Такие лампы могут использоваться в помещениях, где имеют место требования к цветопередаче, поскольку их спектр ближе к спектру дневного света, но хуже чем у люминесцентных ламп низкого давления.

Натриевые лампы (ДНаТ). Лампа содержит тонкостенную трубчатую горелку 1 (рис. 2.8, в) из поликристаллической окиси алюминия – керамики, хорошо пропускающей световое излучение и устойчивой к длительному воздействию насыщенных паров натрия с температурой 1570-1670⁰К, содержащихся в горелке во время работы лампы. Кроме паров натрия, горелка заполнена ксеноном и парами ртути. На торцы горелки напаяны металлические колпачки с вольфрамовыми активированными электродами 2. Горелка помещена в колбу 3 из термостойкого стекла, из которой откачан воздух для теплоизоляции горелки.

Выпускаются мощностью: 50, 70, 100, 150, 250, 400, 1000 Вт;

Световая отдача до 120-140 Лм/Вт, импортные лампы – до 170 Лм/Вт.;

Срок службы до 20000ч, импортные до – 50000ч.;

Диапазон работы: ±45°С.

Зажигание ламп осуществляется импульсным зажигающим устройством. По такой же схеме включаются и лампы ДРИ.

Ртутно-вольфрамовые лампы (ДРВ). Лампа включается непосредственно в сеть без ПРА, вольфрамовая нить служит балластным сопротивлением.

Световая отдача до 30 Лм/Вт.;

Срок службы до 3000-5000 ч.

Дуговые ксеноновые трубчатые лампы (ДКсТ). При относительно невысокой световой отдаче, до 45 Лм/Вт, и ограниченном сроке службы, от 500 до 2000 ч. эти лампы имеют наибольшую из суще-

ствующих источников света единичную мощность до 100 кВт, и сплошной спектр излучений близкий к спектру излучения полуденного солнца. Нормально работают при температуре ниже -35°C . Лампы выпускаются мощностью: 1, 2, 5, 10, 15, 20, 50, 100 кВт.

Дуговой разряд в ксеноновой лампе имеет возрастающую вольт-амперную характеристику, что позволяет включать ее в сеть без балластных дросселей.

Зажигание таких ламп осуществляется с помощью высоковольтных высокочастотных генераторов.

Эти лампы используются в прожекторах для освещения открытых пространств, устанавливаются на высоких мачтах.

Недостатком ксеноновых ламп являются большие пульсации светового потока, избыток в спектре ультрафиолетовых излучений, сложность схемы зажигания.

Выпускаются также в колбах не пропускающих ультрафиолетовые лучи (тип ДКсТЛ).

2.4. Светодиодные источники света

Светодиод (светоизлучающий диод) – полупроводниковый прибор, предназначенный для получения видимого излучения. Излучение возникает на полупроводниковом переходе «р-п» в результате рекомбинации электронов и «дырок».

«Р-п» переход образуется в месте контакта полупроводников различной проводимости. Проводимостью типа «р» обладают полупроводники с избытком положительных зарядов (дырок), а «п» – с избытком отрицательных зарядов (электронов). Проводимость соответствующего типа создается за счет добавления к полупроводниковым материалам высокой чистоты незначительного количества примесей.

Если к этому переходу подвести небольшое напряжение постоянного тока прямой полярности (к «р» – материалу «+», а к «п» материалу – «-»), то электроны и «дырки» будут перемещаться навстречу друг другу и рекомбинироваться (соединяться). В результате будет иметь место испускание фотонов. Свечение возникает на границе полупроводников и выходит наружу сквозь один из материалов и через зазор между ними.

Длина волны излучения зависит от материала полупроводника и вводимой примеси. Например, арсенид галлия дает излучение длинной волны 920 нм, а в сочетании с люминофорами можно получить

красное ($\lambda = 635$ нм), зеленое ($\lambda = 535$ нм) и голубое ($\lambda = 475$ нм) свечение.

Размеры контакта в «р-п» переходе очень малы (10^{-3} см²) и в связи с этим область свечения тоже мала, что позволяет изготавливать светодиоды малых размеров.

Выпускаемые промышленностью светодиоды в основном представляют собой кристалл проводника, заключенный в линзу из полимерного материала. Упаковка кристалла может иметь различные варианты. Кроме того, должен быть обеспечен эффективный отвод теплоты от кристалла.

Для обычного освещения интерес представляют светодиоды, которые излучают белый свет. Получить белое свечение можно одним из следующих трех способов:

1) смешением излучения светодиодов трех и более цветов (например, красного, зеленого и голубого). Эффективность наибольшая, но для практического применения доставляет много неудобств: необходимо иметь несколько источников различного напряжения, много контактных выводов, дополнительные устройства, смешивающие и фокусирующие свет от нескольких светодиодов;

2) смешением голубого свечения с излучением люминофора (например, желто-зеленого или зелено-красного), возбуждаемого этим свечением. Смешиваясь, эти цвета дают свет, близкий по спектру к белому. Этот способ наиболее прост и экономичен;

3) смешением излучения трех люминофоров (красного, зеленого и голубого), возбуждаемых ультрафиолетовым светодиодом. Используются принципы и обычных люминесцентных ламп.

Суммированием излучений более трех цветов можно получить белый свет.

В настоящее время получены белые светодиоды, имеющие световую отдачу не менее 30 лм/Вт (теоретический предел – 300 лм/Вт).

На сегодняшний день светодиоды классифицируются на три группы:

1) до 30 мА, силой света 500...1000 мкд, применяются в технике сигнализации, цифровом отображении;

2) от 30 до 100 мА, силой света 1...3 кд, применяются для цифрового отображения, а также для освещения;

3) более 100 мА, световой поток которых составляет более 10 лм, применяются для освещения.

К основным достоинствам светодиодов относят их высокую надежность и долговечность. Срок службы светодиодов достигает 100 тыс. ч.

2.5. Осветительные приборы

В общем случае все осветительные приборы подразделяются на приборы ближнего действия (светильники) и приборы дальнего действия (прожекторы).

Светильник предназначен для рационального перераспределения светового потока, защиты глаз от чрезмерной яркости и защиты источников света от механических повреждений и загрязнения.

Как правило, светильник состоит из корпуса обычно представляющий собой отражатель и (или) рассеиватель, а также патрона и крепящих устройств. Светотехническими характеристиками светильников являются:

- 1) светораспределение;
- 2) коэффициент усиления;
- 3) соотношение световых потоков, излучаемую в нижнюю часть сферы ко всему световому потоку светильника;
- 4) коэффициент полезного действия;
- 5) защитный угол.

Светораспределение. Для светильников общего назначения (размеры которых малы по сравнению с расстоянием до освещаемой поверхности) светораспределение характеризуется кривыми силы света, построенными в полярных системах координат.

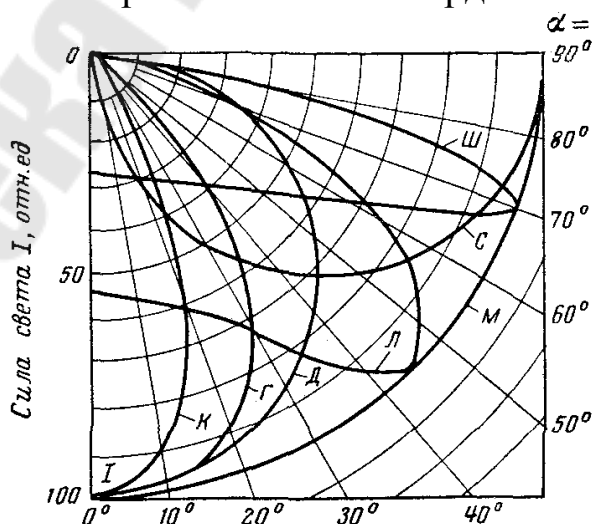


Рис. 2.10. Типовые кривые силы света

ГОСТом в светотехнике установлено 7 типовых кривых сил света (рис. 2.10). Эти кривые построены для условного светового потока в 1000 Лм.

Каждый из светильников может характеризоваться одной или несколькими типовыми кривыми силы света (рис. 2.10): концентрированной (К), глубокой (Г), косинусной (Д), полуширокой (Л), широкой (Ш), равномерной (М) и синусной (С).

Для светильников же местного освещения, размеры которых соизмеримы с расстоянием до освещаемой поверхности, светораспределение характеризуется изолюксами (кривые равных значений освещенности). Изолюксы строятся в зависимости от высоты установки светильника над освещаемой поверхностью – H_p и расстояния от проекции светильника на горизонтальную освещаемую поверхность до рассматриваемой точки на ней d (рис. 2.11) и также приводятся в справочниках.

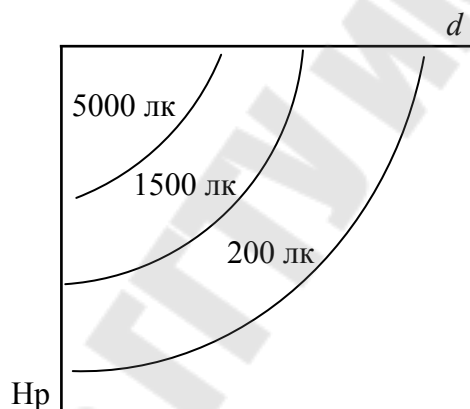


Рис. 2.11. Кривые равных значений освещенности – изолюксы

Коэффициент усиления светильника (K_y). Это отношение максимальной силы света (I_{\max}) к средней сферической силе света ($I_{\text{ср.сф.}}$)

$$K_y = \frac{I_{\max}}{I_{\text{ср.сф.}}}, \quad (2.7)$$

где

$$I_{\text{ср.сф.}} = \frac{\Phi_{\text{л}}}{4 \cdot \pi}. \quad (2.8)$$

Коэффициент усиления характеризует усиление силы света светильника в заданном направлении.

Соотношение световых потоков, излучаемых в нижнюю полусферу к всему световому потоку светильника. Все светильники в зависимости от соотношения светового потока, излучаемого в нижнюю полусферу (Φ_{\cup}) ко всему световому потоку светильника ($\Phi_{\text{св}}$) подразделяются на следующие пять классов:

П – прямого света $\frac{\Phi_{\cup}}{\Phi_{\text{св}}} > 80 \%$;

Н – преимущественно прямого света $60 \% \leq \frac{\Phi_{\cup}}{\Phi_{\text{св}}} \leq 80 \%$;

Р – рассеянного света $40 \% \leq \frac{\Phi_{\cup}}{\Phi_{\text{св}}} \leq 60 \%$;

В – преимущественно отраженного света $20 \% < \frac{\Phi_{\cup}}{\Phi_{\text{св}}} \leq 40 \%$;

О – отраженного света $\frac{\Phi_{\cup}}{\Phi_{\text{св}}} \leq 20 \%$.

Соотношение световых потоков и кривые светораспределения являются важнейшими светотехническими характеристиками светильника, определяющими распределение его светового потока в пространстве, окружающем светильник.

Коэффициент полезного действия светильника (η). Представляет собой отношение светового потока светильника ($\Phi_{\text{св}}$) к световому потоку источника света ($\Phi_{\text{л}}$):

$$\eta = \frac{\Phi_{\text{св}}}{\Phi_{\text{л}}}. \quad (2.9)$$

Коэффициент полезного действия светильника характеризует экономичность распределения светового потока и зависит от конструкции и материала светильника.

Защитный угол (γ). Определяет степень защиты глаза от воздействия ярких частей светильника (рис. 2.12).

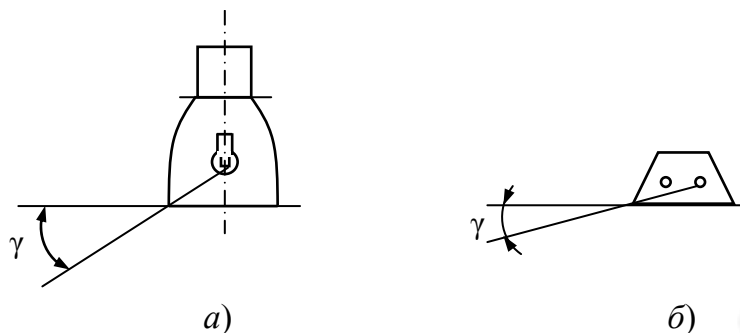
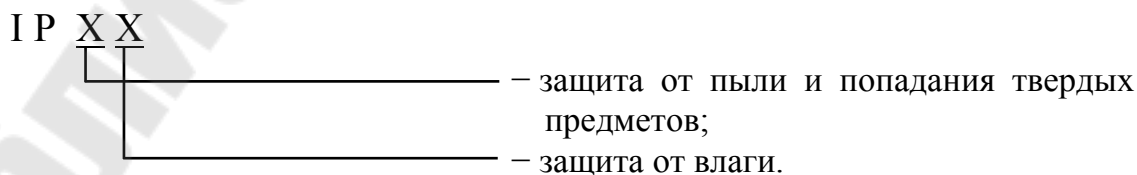


Рис. 2.12. Защитный угол светильника

По конструктивному исполнению в общем случае светильники делятся на:

- а) открытые – лампа не отделена от внешней среды;
- б) защищенные – лампа защищена от механических повреждений;
- в) закрытые – защищены от проникновения пыли и механических повреждений лампы;
- г) пыленепроницаемые – защищены от проникновения тонкой пыли;
- д) влагозащищенные – противостоят воздействию влаги;
- е) взрывозащищенные – противостоят появлению взрыва (В – взрывонепроницаемые, Н – повышенной надежности против взрыва).

Аналогично с классификацией электрического оборудования по конструктивному исполнению, которая определяет одновременно степень защиты оборудования от попадания внутрь них твердых посторонних тел (в частности пыли), степени защиты персонала от соприкосновения с находящимися под напряжением частями, расположенными внутри оболочки изделий и степени защиты от влаги, для светильников также установлена международная система защиты, состоящая из букв IP (International Protection) и двух цифр, обозначающих степень защиты. Первая цифра определяет защиту лампы от пыли, вторая – от влаги:



Существует шесть следующих классов защиты светильников от пыли:

- незащищенные (открытые – 2, перекрытые – 2');
 - пылезащищенные (полностью – 5, частично – 5');
 - пыленепроницаемые (полностью – 6, частично – 6');
- и семь следующих классов защиты от влаги:
- 0 – водонезащищенный – защита отсутствует;
 - 2 – каплезащищенный – защита от капель, падающих сверху под углом к вертикали 15°;
 - 3 – защищенный – защита от капель или струй воды, падающих сверху под углом к вертикали 60°;
 - 4 – брызгозащищенный – защита от попадания капель или брызг под любым углом;
 - 5 – струезащищенный – защита от попадания воды при обливании струей под любым углом;
 - 7 – водонепроницаемый – защита от попадания воды при кратковременном погружении в воду;
 - 8 – герметичный – защита от попадания воды при неограниченно долгом погружении в воду.

Если указана цифра со "штрихом" буквы IP в обозначении защиты не указываются, например 6'3.

Защита светильников от пыли, воды и агрессивных сред обеспечивается, как правило, конструкционными и светотехническими материалами, различной степенью герметизации внутреннего объема светильника или его отдельных полостей, токоведущих элементов и (или) электрических контактов.

На рис. 2.13 приведена структура обозначения и маркировка светильников в соответствии с ГОСТ 13828-74.

Примеры обозначений светильников:

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;

ЛС02-2×40-005-У3 – светильник с двумя люминесцентными лампами мощностью по 40 Вт, подвесной, для общественных зданий, серии 02, модификации 005, климатическое исполнение У, категория размещения 4;

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.

Наряду с приведенным условным обозначением светильникам могут присваиваться собственные имена, например: «Глубокоизлучатель». Кроме того, действуют еще более ранние ГОСТы, а также обозначения, присваиваемые заводом изготовителем. Все это создает определенные трудности в расшифровке условного обозначения светильников.



Рис. 2.13. Структура обозначения и маркировка светильников

Таблица 2.1

Номенклатура и основные параметры некоторых светильников

Тип, серия светильника	Количество и мощность, Вт	Степень защиты	КСС/ Класс светораспределения по ГОСТ 17677-82	КПД, %	Способ установки	Способ монтажа
Светильники с ртутными лампами высокого давления						
РПП01	50, 80, 125	IP54	Д1/П	65	П	4
ГПП01	125	IP54	Д2/П	60	П	4
ЖПП01	70, 100	IP54	Д3/П	60	П	4
РПП05	80, 125	IP54	М/П	55	П	2, 4
РСР05	250-1000	IP20	Д2/П	75	С	1; 2; 3
РСР08	250, 400	IP20	Д3/П	75	С	1
РСР11	400	IP52	Д1/П	72	С	1
РСР12	700	IP52	Д3/П	62	С	1
РСР13	400, 700, 1000	IP53	Д3/П	70	С	1; 2
ГСП15	400	IP52	Г1/П	72	С	1; 2; 3
ГСП18	250, 400, 700	IP20	Г1/П	75	С	1; 2
Светильники с люминесцентными лампами						
ЛСП02	2×40(2×36)	IP20	Д2/П	70	С	2; 3; 5
ЛВП02	4×80	IP20	Д1/П	50	В	5
ЛВП06	5×65(5×58)	IP20	Д1/П	52	В	5
ЛСП13	2×40(2×36)	IP20	Ш1/П	75	С	2; 3; 8
ЛДОР	2×40, 2×80	IP20	Д2/Н	75	С	5; 6
ПВЛП1	2×40	IP54	Д1/П	65	С	2; 5
ПВЛМ	2×40		М/Н	85	С	5; 6
ЛСР01-20	20	IP54	М/Р	70	С	7
ЛСР01-40	40	IP54	М/Р	70	С	7
ЛСП29	2×18, 2×36	IP54	Д1/Р	65	С	1; 7
Светильники с лампами накаливания						
НСР01	100, 200	IP54	Г/П	75	С	1; 3
НСР02	100	IP52	Н/М	75	С	3
НСР03М	60	IP54	-/Н	85	С	4
НПП04	60	IP20	М/Р	55	Н, Б, Д	5; 6
НСР17	200-1000	IP20	Ш1, Г2/П	75	С	1; 2; 3
НСР20	500, 1000	IP52	Д2/П	77	С	1; 2
Н4БН	150	IP54	Д1/П	55	С	1
Н4Б-300МА	300	IP54	Д1/П	50	С	1; 2
В3Г/В4А200	200	IP54	Д1/П	50	С	1
ПСХ 60М	60	IP54	Ш1/П	60	С	1; 2; 3; 4

Примечания:

Способ монтажа для светильников с ртутными лампами: 1 – на трубу с резьбой 20 мм; 2 – на монтажный профиль; 3 – на крюк; 4 – на опорную поверхность; 5 – специальное крепление.

Способ монтажа для светильников с люминесцентными лампами: 1 – на трубу с резьбой 20 мм; 2 – на шинопровод; 3 – на штангах; 5 – на потолок; 6 – на стержнях; 7 – на крюк; 8 – на монтажный профиль.

Способ монтажа для светильников с лампами накаливания: 1 – на трубу с резьбой 20 мм; 2 – на монтажный профиль; 3 – на крюк; 4 – на потолок; 5 – на горизонтальную опорную поверхность; 6 – на наклонную опорную поверхность.

При существующем многообразии светильников основными отличительными особенностями их являются тип источника света, его мощность, конструктивное исполнение с определенной защитой от воздействия окружающей среды, светораспределение.

В табл. 2.1 приведены основные параметры некоторых типов светильников, применяемых для общего освещения производственных помещений и помещений общественных зданий.

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

3.1. Объем и содержание проектных материалов

Проект по осветительным установкам, как и для большинства организационно-технических систем, как правило, выполняется в два этапа:

- 1) технический проект (задание);
- 2) рабочие чертежи.

Часто повторяющиеся и относительно простые объекты с точки зрения освещения, имеющие типовые проекты, выполняются в один этап – этап – рабочие чертежи.

В техническом проекте решаются основные принципиальные вопросы светотехнической и электрической частей осветительной установки. Определяется установленная мощность. Потребность в электрооборудовании, а стоимость осветительной установки.

Исходными данными являются строительные и технологические планы, генпланы объектов, данные об источниках питания.

Технический проект сопровождается запиской, в которой приводятся основные технические показатели; составляется спецификация на светильники, электрооборудование, провода и кабели; разрабатывается смета, которая является окончательной и корректировке не подлежит.

Для выбора марки, числа и мощности светильников выполняется светотехнический расчет. При этом составляются планы электрического освещения, но планы эти выполняются в эскизном виде и на чисто не оформляются. Они группируются в черновом томе и хранятся у организации – автора.

На основании утвержденного технического проекта разрабатываются рабочие чертежи, которые служат для производства по ним электромонтажных работ. Содержат поэтажные планы и характерные разрезы с подробным указанием расположения светильников, щитков, электрической сети и т.д.

При составлении планов строительная часть зданий и основное оборудование изображаются тонкими линиями без излишних подробностей. План осветительной установки выполняется более толстыми линиями. При этом используются условные графические изображения осветительной установки, а также соответствующие надписи. Для разработки рабочих чертежей используются условные графические обозначения и необходимые надписи.

Рабочие чертежи сопровождаются запиской, которая состоит из трех частей: общей, светотехнической и электрической:

1) в общей части приводятся исходные данные и характеристика объекта;

2) светотехническая часть включает следующее:

2.1) выбор системы освещения;

2.2) выбор источников света;

2.3) выбор освещенности и коэффициентов запаса;

2.4) выбор типа светильников высоты их подвеса и размещения;

2.5) светотехнические расчеты, определение установленной мощности источников света.

3) в электрической части проекта выполняется:

3.1) разработка схемы питания осветительной установки;

3.2) выбор напряжения питающей сети;

3.3) выбор мест расположения щитков освещения и их типов и трассы осветительной сети;

3.4) выбор марки проводов и кабелей, шинпроводов и способов их прокладки;

3.5) расчет осветительной сети (выбор сечения проводов и кабелей, шинпроводов и расчет защиты).

3.2. Светотехническая часть проекта

3.2.1. Выбор системы освещения

Существуют две системы освещения: общая и комбинированная.

Система общего освещения предназначена для освещения как рабочих поверхностей, так и всего помещения в целом.

Система комбинированного освещения предусматривает использование, наряду с общим, и местного освещения для увеличения уровней освещенности на рабочих местах (станках, верстаках, столах и т.д.). Устройство в помещениях только местного освещения нормами запрещено.

Общее освещение, кроме того, может быть равномерным и локализованным.

При общей равномерной системе светильники располагаются на одинаковом удалении друг от друга и создают равномерное освещение всего помещения.

При локализованной системе светильники размещаются в местах наиболее выгодного направления светового потока на рабочее ме-

сто, т.е. размещение светильников целиком зависит от расположения оборудования.

Выбор той или иной системы освещения определяется в основном размещением оборудования и соответственно расположением рабочих мест, технологией выполняемых работ, экономическими соображениями.

Одним из основных показателей, характеризующим целесообразность применения общей или комбинированной системы освещения является плотность расположения рабочих мест в помещении ($\text{м}^2/\text{чел}$). В табл. 3.1 в приведены рекомендуемые системы освещения для различных разрядов зрительной работы в зависимости от плотности расположения рабочих мест и дается при этом возможная экономия электроэнергии.

Таблица 3.1

Рекомендуемые области применения систем общего и комбинированного освещения

Разряд зрительной работы	Системы освещения		Возможная экономия электроэнергии, %
	комбинированная	общая	
I, II а, б	+	–	–
II в, г	+ при $S > 3$	+ при $S \leq 3$	до 60
III	+ при $S > 5$	+ при $S \leq 5$	до 25
IV а, б	+ при $S > 10$	+ при $S \leq 10$	15 – 20
IV в, г	–	+	–

Примечание: «+» – рекомендуется; «–» – не рекомендуется; S – средняя плотность, м^2 на одного работающего.

Наряду с этим систему комбинированного освещения рекомендуется применять:

- в производственных помещениях, в которых выполняются точные зрительные работы;
- в помещениях, где на рабочих местах создаются глубокие тени от оборудования (прессы, макеты и т.д.);
- в помещениях, где рабочие поверхности расположены вертикально или наклонно.

В свою очередь система общего освещения с равномерным расположением светильников рекомендуется:

- при высокой плотности расположения оборудования, например сборочные цеха;

- в помещениях, в которых по всей площади выполняются однотипные работы, например литейные цеха;
- в помещениях, работа в которых не требует большого и длительного напряжения зрения;
- в административных, складских и вспомогательных помещениях.

Общее освещение с локализованным размещением светильников применяется:

- если рабочие места расположены группами (группа станков, рабочие места у конвейеров и др.);
- когда на разных участках выполняются работы различной точности;
- в помещениях с большими по площади рабочими поверхностями, например цеха химической промышленности;
- при освещении мест работы на открытых пространствах.

Для освещения проездов и проходов на территориях предприятий применяется исключительно система общего освещения с равномерным размещением светильников.

3.2.2 Выбор источников света

Выбор того или иного источника света определяется требованиями к освещению и причем в первую очередь качественными показателями (цветность излучения, показатель блескости, коэффициент пульсаций светового потока, зрительный комфорт и др.), количественные требования к освещению практически можно выполнить любыми существующими источниками света. А также на основании сопоставления достоинств и недостатков существующих источников света.

При этом предпочтение необходимо отдавать разрядным источникам света как наиболее экономичным, имеющим световую отдачу более 50 лм/Вт, и в связи с этим обеспечивающие минимальное потребление электроэнергии.

В соответствии с [13], общее (независимо от принятой системы освещения) искусственное освещение производственных помещений, предназначенных для постоянного пребывания людей, должно обеспечиваться разрядными источниками света.

Применение ламп накаливания допускается в отдельных случаях, когда по условиям технологии, среды или требований оформления интерьера использование разрядных источников света невозможно или нецелесообразно.

Для *местного* освещения кроме разрядных источников света рекомендуется использовать лампы накаливания, в том числе галогенные.

Применение ксеноновых ламп внутри помещений не допускается.

Выбор типов источников света для производственных помещений, жилых и общественных зданий осуществляется в соответствии с приложением Е, Ж [13].

Лампы накаливания ввиду их низкой световой отдачи можно использовать в следующих случаях:

а) в помещениях с нормируемой освещенностью 50 лк и ниже, т.е. когда с помощью газоразрядных источников света невозможно обеспечить зрительный комфорт;

б) в помещениях с тяжелыми условиями среды и взрывоопасных, при отсутствии необходимых светильников с газоразрядными лампами;

в) в помещениях, где недопустимы радиопомехи;

г) для аварийного и эвакуационного освещения, когда рабочее освещение выполнено разрядными лампами высокого давления (ДРЛ, ДРИ, ДНаТ).

Люминесцентные лампы низкого давления рекомендуется применять в помещениях:

а) где работа связана с большим и длительным напряжением зрения;

б) где требуется распознавание цветовых оттенков;

в) без естественного света;

г) где люминесцентное освещение целесообразно по архитектурно-художественным соображениям.

При отсутствии ограничений к цветопередаче следует применять люминесцентные лампы типа ЛБ, имеющие наибольшую световую отдачу и наименьшую пульсацию светового потока. При повышенном требовании к цветопередаче используют лампы ЛД и ЛДЦ. В жарких помещениях применяют амальгамные люминесцентные лампы типа ЛБА.

Узкополосные люминесцентные лампы типа ЛБЦТ в сравнении с широкополосными люминесцентными лампами типов ЛБ, ЛЕЦ, ЛДЦ, ЛХЕ стимулируют положительные эмоции: обладают свойством сдвигать восприятие цвета объектов по сравнению с их "естественным" цветом при дневном свете, например, цвет лица, зеленая ли-

ства, овощи при освещении этими лампами выглядят "приукрашенными" и воспринимаются с положительными эмоциями, однако следует помнить, что цветопередача в этом случае далека от естественной.

Энергоэкономичные люминесцентные лампы 18, 36, 58 Вт с узкополосным спектром излучения отличаются от обычных люминесцентных ламп 20, 40, 65 Вт более высокой световой отдачей и позволяют получить экономию электроэнергии в пределах до 8 %.

При выборе газоразрядных ламп низкого давления необходимо учитывать, что при температуре окружающей среды $+5^{\circ}\text{C}$ и ниже или относительной влажности более 80 % зажигание ламп не гарантируется.

Разрядные лампы высокого давления (ДРЛ, ДРИ, ДНаТ) применяются в высоких производственных помещениях ($H \geq 6$ м). Причем при отсутствии требований к цветопередаче можно применять лампы ДРЛ, при наличии требований к цветопередаче – ДРИ.

По применению натриевых ламп (ДНаТ) на настоящее время нет еще достаточных данных о влиянии монохроматического желтого излучения этих ламп на зрительную работоспособность и физическое состояние людей. Поэтому пока эти лампы рекомендуется применять в запыленных цехах, в помещениях с интенсивным парообразованием, где выполняются работы малой и очень малой точности.

Перспективным с точки зрения экономии электроэнергии является применение осветительных установок смешанного света с разноспектральными лампами. В этой связи рекомендуется применение натриевых ламп высокого давления в сочетании с лампами ДРЛ в количестве 40 ... 50 % или с лампами ДРИ в количестве 20 ... 40 % суммарной установленной мощности для освещения зрительных работ малой и средней точности. Для этой цели можно использовать двойные светильники.

При выборе разрядных ламп высокого давления ДРЛ, ДРИ, ДНаТ необходимо учитывать, что коэффициент пульсаций светового потока соответственно составляет 0,65; 0,4; 0,75, а световая отдача ламп ДРЛ – 40 ... 70 лм/Вт, ДРИ – 60 ... 100 лм/Вт и ДНаТ – 70 ... 130 лм/Вт, срок службы соответственно 10 ... 18 тыс. часов, 3 ... 10 тыс. часов, 10 ... 50 тыс. часов.

Разрядные лампы высокого давления в значительной степени используются для освещения открытых пространств, заводских территорий, улиц, площадей. Здесь учитываются положительные свойст-

ва ламп нормально работать в широком диапазоне температур – $\pm 40^{\circ}\text{C}$.

Для *аварийного освещения* (освещения безопасности и эвакуационного) применяются: лампы накаливания; люминесцентные лампы – в помещениях с минимальной температурой воздуха не менее 5°C при условии питания ламп во всех режимах напряжения не ниже 90 % номинального; разрядные лампы высокого давления при условии их мгновенного или быстрого повторного зажигания как в горячем состоянии после кратковременного отключения питающего напряжения, так и в холодном состоянии.

Если рабочее освещение выполнено люминесцентными лампами, то и аварийное освещение также выполняется ЛЛ при условии, что напряжение в сети снижается в аварийных или ремонтных режимах не ниже 90 % номинального.

Для *охранного освещения* могут использоваться любые источники света.

3.2.3. Выбор освещенности и коэффициентов запаса

Выбор нормируемой освещенности выполняемой работы, рабочих мест является одним из важнейших этапов проектирования осветительных установок. При завышенных значениях освещенности возрастают приведенные затраты на осветительную установку, увеличивается расход электроэнергии на освещение. Заниженное освещение может являться причиной утомляемости и появления брака в работе, снижения производительности труда. Поэтому правильное определение нормируемой освещенности в значительной степени обуславливает эффективность осветительной установки.

Под нормируемой освещенностью понимается минимальная освещенность, которая должна иметь место в "наихудших" точках освещаемой поверхности. Установлена следующая шкала нормируемых значений освещенности: 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.

Основным нормативным документом, первоисточником для выбора норм освещенности является СНБ 2.04.05-98, [13].

В табл. 1 [13] приведены значения нормируемой освещенности при системе общего и комбинированного освещения для помещений промышленных предприятий в зависимости от характеристики зрительной работы (точности выполняемой работы), размера объекта различения (от менее 0,15 мм до более 5 мм), разряда зрительной ра-

боты (установлено восемь разрядов зрительной работы (I - VIII) в зависимости от точности выполняемой работы и размера объекта различения), контраста объекта с фоном (установлено три контраста – малый, средний и большой), характеристики фона (светлый, средний, темный) и подразряда зрительной работы (установлены подразряды – а, б, в, г в зависимости от состояния контраста объекта с фоном и характеристики фона).

В общих нормах [13, табл. 1] значения освещенности внутри помещений промышленных предприятий приводятся для разрядных источников света. При использовании ламп накаливания нормируемые освещенности должны быть снижены на 1 или 2 ступени стандартной шкалы.

Для того чтобы выбрать нормируемую освещенность по табл. 1, 2 [13] необходимо знать характеристики рабочего процесса, объектов различения, обзора окружающего пространства и т.п., но даже и знание этого не всегда позволяет правильно выбрать разряд и подразряд зрительной работы. Поэтому эти нормы в основном используются для составления отраслевых норм, которые содержат значения освещенности уже для конкретных помещений [2, 21].

В [13] приведены нормируемые значения освещенности общепромышленных помещений и сооружений (приложение И), основных помещений общественных и жилых зданий, административных и бытовых зданий предприятий (приложение К).

Нормированные значения освещенности должны быть обеспечены в течение всего времени эксплуатации осветительной установки. Однако, в связи с тем, что в период эксплуатации имеет место постоянное уменьшение освещенности, начальная освещенность должна быть принята больше нормированной, а именно, равна последней, умноженной на коэффициент запаса, значения которого регламентированы нормами. Этот коэффициент учитывает снижение светового потока источников света к концу срока службы, запыление светильников, старение последних, т.е. ухудшение характеристик, не восстанавливаемых очисткой, и снижение коэффициентов отражения стен и потолка помещения. Необходимый коэффициент запаса зависит от количества и характера пыли в воздухе, степени старения данного типа источников света (в связи с чем для газоразрядных ламп коэффициент запаса повышается), типа светильников, и, конечно периодичности очистки последних. В зависимости от указанных обстоятельств

значение коэффициента запаса может находиться в пределах 1,3 ... 2 и принимается по табл. 3.2.

Таблица 3.2

Значение коэффициента запаса

№ п/п	Пример помещений	Коэффициент запаса, K_3	
		ГЛ	ЛН
1.	Помещение общественных и жилых зданий (кабинеты, учебные помещения, лаборатории, читальные, торговые залы и т.п.)	1,5	1,3
2.	Производственные помещения с высокой чистотой воздуха при обслуживании светильников: - с технического этажа - из помещения	1,3	1,5
		1,4	1,2
3.	Цеха инструментальные, сборочные, механические	1,5	1,3
4.	Цеха химзаводов, гальванические, кузнечные, литейные, мартеновские, сварочные, сборного железобетона, лесопильные	1,8	1,5
5.	Агломерационные фабрики, цементные заводы, обрубные отделения цехов, цеха шлифования древесных деталей	2	1,7

Примечание: ГЛ – газоразрядные лампы, ЛН – лампы накаливания

Таким образом, при выполнении проекта осветительной установки для каждого помещения по отраслевым нормам [2, 13 (приложения Н, К,), 21] должны быть определены минимальные освещенности (E_{\min}) на рабочих местах в зависимости от принятой системы освещения, ориентировочно определен коэффициент запаса (K_3), который при выборе светильников может быть скорректирован, а также выписаны регламентированные значения всех качественных показателей освещения.

3.2.4. Выбор типа светильников, высоты их подвеса и размещения

3.2.4.1. Тип светильника

Основными факторами, определяющими **выбор светильников** являются:

- а) условия окружающей среды (наличие пыли, влаги, химической агрессивности, пожароопасных и взрывоопасных зон);
- б) строительная характеристика помещения (размеры помещения, в том числе его высота, наличие ферм, технологических мостиков, размеры строительного модуля, отражающие свойства стен, потолка, пола и рабочих поверхностей);

в) требования к качеству освещения.

Выбор конкретного типа светильника осуществляется по конструктивному исполнению, светораспределению и ограничению слепящего действия, экономическим соображениям.

Конструктивное исполнение светильника в значительной степени определяется уровнем защиты его от воздействия окружающей среды.

От конструктивного исполнения светильников зависит их надежность и долговечность в данных условиях среды помещения, безопасность в отношении пожара, взрыва и поражения электрическим током, а также удобство обслуживания.

В нормальных сухих и влажных помещениях допускается применения всех типов незащищенных (IP20) светильников.

В сырых помещениях также допускается применение незащищенных (IP20) светильников, но при условии выполнения корпуса патрона из изоляционных и влагостойких материалов.

В особо сырых помещениях и в помещениях с химически активной средой рекомендуется применение светильников со степенью защиты не ниже IP22, в пыльных помещениях – не ниже IP44.

В жарких помещениях – не ниже IP20, причем в светильниках с люминесцентными лампами рекомендуется применение амальгамных ламп.

В пожароопасных зонах применяются светильники с минимальными допустимыми степенями защиты, указанными в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Минимальные допустимые степени защиты светильников в зависимости от класса пожароопасной зоны

Источники света, устанавливаемые в светильниках	Степень защиты светильников для пожароопасной зоны класса			
	П-I	П-II	П-IIa	П-III
Лампы накаливания	IP53	IP53	2'3	2'3
Лампы ДРЛ	IP53	IP53	IP23	IP23
Люминесцентные лампы	5'3	5'3	IP23	IP23

Примечание. Допускается изменять степень защиты оболочки от проникновения воды (2-я цифра обозначения) в зависимости от условий среды, в которой устанавливаются светильники.

Во взрывоопасных зонах могут применяться светильники при условии, что уровень их взрывозащиты или степень защиты соответствует табл. 3.4 или является более высокими.

Допустимый уровень взрывозащиты светильников в зависимости от класса взрывоопасной зоны

Класс взрывоопасной зоны	Уровень взрывозащиты
В-I	Взрывобезопасные
В-Ia, В-Iг	Повышенной надежности против взрыва
В- Iб	Без средств взрывозащиты. IP53
В-II	Повышенной надежности против взрыва
В-IIa	Без средств взрывозащиты. IP53

В [11, 21 и др.] приведены подробные рекомендации выбора светильников по конструктивному исполнению.

Если существующая номенклатура светильников представляет возможность применения в помещении не единственного, а нескольких возможных по конструктивному исполнению светильников, из них почти всегда целесообразно выбрать тот, который обладает наиболее высокой эксплуатационной группой [13] (табл. П7), характеризующей способность светильника сохранять в процессе работы высокие светотехнические качества. Такой подход позволяет в определенных условиях [13, табл. 3] принять меньшие значения коэффициентов запаса, это в свою очередь приводит к снижению установленной мощности источников света, уменьшению расхода электроэнергии.

Правильный выбор светильника по **светораспределению** обуславливает экономичное использование светового потока источника света, приводит к снижению установленной мощности осветительной установки. При равных условиях предпочтительнее выбирать светильники с более высоким КПД, несмотря на их более высокую стоимость. Эти дополнительные затраты окупаются за счет экономии электроэнергии.

В производственных помещениях с низкими коэффициентами отражения стен, потолков целесообразно применение светильников прямого света класса II со светораспределением типа К (концентрированная) при высоких потолках (более 6-8 м), с меньшей высотой потолков – со светораспределением типа Д (косинусная), реже Г (глубокая). С увеличением высоты помещения применяемый светильник должен иметь большую степень концентрации светового потока (К, Г) и наоборот, в низких помещениях рекомендуется использовать светильники с более широким светораспределением (Д, Г).

При высоких отражающих свойствах стен и потолков производственных помещений (светлые потолки и стены) целесообразно применение светильников преимущественно прямого света класса Н.

При высоких отражающих свойствах пола или рабочих поверхностей преимущество получают светильники класса П, поскольку в этом случае за счет отражения в верхнюю полусферу попадает достаточно светового потока для создания приемлемого зрительного комфорта.

Светильники преимущественно прямого света класс П и рассеянного света класса Р с кривыми светораспределения Д (косинусная) и Л (полуширокая) целесообразно применять для освещения административных, учебных помещений, лабораторий и т.п.

Светильники классов В (преимущественно отраженного света) и О (отраженного света) применяют для создания архитектурного освещения производственных помещений, гражданских зданий. Для наружного освещения – светильники с кривой силы света Ш (широкая).

Учет при выборе светильников слепящего их действия осуществляется по **показателю ослепленности**, который нормируется [13] и сравнивается с фактическим показателем ослепленности. Расчет этого показателя приведен в [10], но на практике при проектировании осветительных установок в связи с трудностью расчета этого показателя эта характеристика учитывается косвенно минимально допустимой высотой подвеса светильников.

Выбор светильников по критерию **экономичности** выполняется по минимуму приведенных затрат. Однако учитывая, что основной составляющей годовых эксплуатационных расходов являются затраты на электроэнергию, можно с некоторым приближением оценивать экономичность светильника по критерию энергетической экономичности ($\mathcal{E}_э$). Под энергетической экономичностью понимается отношение нормируемой (минимальной) освещенности (E_{\min}) к удельной мощности $P_{уд}$:

$$\mathcal{E}_э = \frac{E_{\min}}{P_{уд}}, \quad (3.1)$$

где $P_{уд}$ – удельная мощность, равная отношению установленной мощности ламп к площади освещаемого помещения.

Рост энергетической экономичности в соответствии с выражением (3.1), является следствием уменьшения удельной установленной

мощности источников света, необходимой для создания заданной освещенности.

Было установлено, что энергетическая экономичность является функцией комбинированного аргумента $E_{\min} \cdot K_3 \cdot H_p^2$, где E_{\min} – освещенность по нормам, K_3 – коэффициент запаса, H_p – расчетная высота подвеса светильников над рабочей поверхностью (см. рис. 3.1).

Это позволяет определить области, целесообразного с экономической точки зрения, использования различных типов светильников. В [1] для некоторых типов светильников приведены наибольшие и наименьшие мощности ламп и соответствующие им значения аргумента $E_{\min} \cdot K_3 \cdot H_p^2$. Если при проектировании фактическое значение аргумента $E_{\min} \cdot K_3 \cdot H_p^2$ будет меньше нижнего предела для данного светильника, то применять его не рекомендуется. При фактических значениях аргумента, больших верхнего предела для данного светильника, применение его может быть допущено при условии отсутствия другого, более экономичного светильника.

Как видно из аргумента $E_{\min} \cdot K_3 \cdot H_p^2$ энергетическая экономичность светильников в значительной степени зависит от принимаемой при проектировании расчетной высоты подвеса светильников (H_p); которая в определенной степени зависит от высоты помещения.

При малой высоте (до 6 м) добиться качественных показателей, таких как минимальная неравномерность освещения, допустимая пульсация и ослепленность, возможно только с помощью большого числа светильников с относительно малой единичной мощностью источника света (ЛН и ЛЛ). В высоких помещениях экономически выгодней применять мощные источники света (ДРЛ, ДРИ, ДНаТ) и малое число светильников, каждый из которых должен иметь оптимальное светораспределение для конкретного варианта.

Поэтому выбор типа светильников выполняется одновременно с выбором их схем размещения на плане освещаемого помещения.

Высота освещаемого помещения определяет и экономичный тип светораспределения светильников.

Для каждой типовой кривой силы света (типа светильника) существует наиболее выгодное относительное расстояние между светильниками $\frac{L}{H_p}$, при которой обеспечивается наибольшая равномерность

распределения освещенности, а также наивыгоднейшее относительное расстояние между светильниками $\left(\frac{L}{H_p}\right)_{\text{э}}$ при которой обеспечивается максимальная энергетическая экономичность. Под относительным расстоянием между светильниками понимается отношение расстояния между ними (L) к расчетной высоте подвеса светильников над рабочей поверхностью (H_p) (табл. 3.5, 3.6).

Таблица 3.5

Значения относительных расстояний L/H_p для типовых кривых сил света

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			

Таблица 3.6

Значения L/H_p для некоторых типов светильников

Тип светильника	L/H_p
Светильники с лампами накаливания НСП17, Гс, ГсУ НСП01, ППР, УПД	0,9 ... 1,0 1,4 ... 1,6
Светильники с люминесцентными лампами ЛДР, ЛДОР, ОДР, ПВЛМ, ЛСП02, ЛСП06, УСП	1,4 ... 1,6
Светильники с лампами ДРЛ УПДДРЛ, СД2ДРЛ, РСР05, СЗ4ДРЛ	1,4 ... 1,6 0,9 ... 1,0

Выбранные светильники должны быть расположены и установлены таким образом, чтобы обеспечивалось [18]:

- а) безопасность и удобный доступ к светильникам для обслуживания;
- б) создание нормированной освещенности наиболее экономичным путем;

в) соблюдение требований к качеству освещения (равномерность освещения, направление света, ограничение вредных факторов: теней, пульсаций освещенности, прямой и отраженной блескости;

г) наименьшая протяженность и удобство монтажа групповой сети;

д) надежность крепления светильников.

3.2.4.2. Высота подвеса светильников

Высота подвеса светильников над освещаемой поверхностью (H_p) – расчетная высота подвеса светильников (рис. 3.1) в значительной степени определяет характеристику и технико-экономические показатели проектируемой осветительной установки.

От ее величины зависит установленная мощность источников света, размещение светильников на плане; высота подвеса определяет качественные показатели освещения, выбор светильников по светораспределению, экономическим соображением.

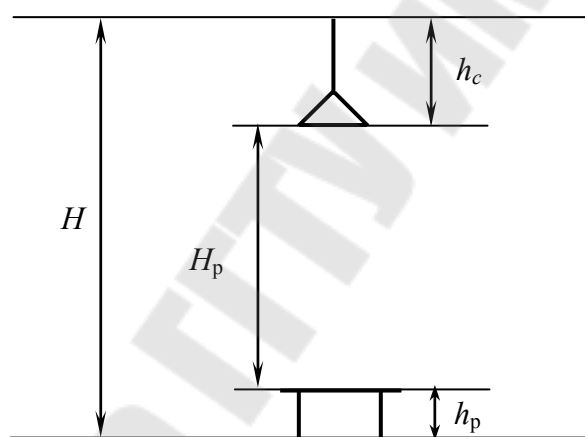


Рис. 3.1. Размещение светильника по высоте помещения:
 H – высота помещения; H_p – высота подвеса светильника над освещаемой поверхностью; h_c – высота свеса светильника;
 h_p – высота рабочей поверхности

В связи с тем, что ряд показателей ОУ регламентируется нормами искусственного освещения, высота подвеса светильников принимается одновременно с решением других задач проектирования – выбора типа светильников, их размещения и обслуживания и др.

Минимальная высота подвеса светильников ограничена условием ослепляющего их действия (нормированный показатель ослепленности).

Максимальная высота ограничена размерами помещения и условиями обслуживания светильников.

При выборе высоты подвеса учитываются строительные особенности помещений – наличие ферм, технологических мостиков, размеры строительного модуля; одновременно рассматриваются способы прокладки и монтажа проводов и кабелей осветительной сети.

В помещениях ограниченной высоты светильники устанавливаются либо на свесах, либо непосредственно на потолке и обслуживаются с лестниц или стремянок. По условию доступности высота подвеса светильников не должна превышать 5 м от пола, причем светильники не должны располагаться над крупным оборудованием, прямыми и в других местах, где невозможна установка лестниц или стремянок.

В помещениях с ферменным перекрытием чаще всего светильники общего освещения устанавливаются на фермах. В этих случаях они могут обслуживаться с мостовых кранов, причем светильники должны быть размещены на уровне не менее 1,8 м над настилом площадки обслуживания на кране или же на уровне нижнего пояса ферм.

При проектировании осветительных установок необходимо предусматривать, чтобы возможно большая часть светильников была доступна для обслуживания с пола с помощью переносных приспособлений (табуретов, лестниц и стремянок).

К числу указанных мер относятся [18]:

- а) установка светильников с помощью кронштейнов на стенах или колоннах на высоте не более 5 м;
- б) подвеска светильников на тросах, коробах, трубах, монтажных профилях и т.п. на высоте не более 5 м или же на тросах с опускными приспособлениями;
- в) установка светильников на мостиках или площадках, предназначенных для обслуживания шинопроводов, тельферов и т.п., а также установка на крупном технологическом оборудовании;
- г) использование технологических площадок верхних отметок для установки на них светильников, освещающих нижние отметки.

Кроме того, в соответствии с нормами [18] рекомендуется принимать следующие высоты установки светильников, м:

2,1 – в электропомещениях, при установке светильников вблизи открытых токоведущих частей;

не более 3,5 – на технологических площадках, мостиках, переходах и т.п. при установке светильников на стенах;

2,5 – на технологических площадках, мостиках, переходах и т.п. при установке светильников на стойках вдоль ограждений;

на уровне настила $\pm 0,5$ – на мостиках для обслуживания светильников.

Подвесные светильники общего освещения, устанавливаемые на потолках или фермах, как правило, должны крепиться к последним со свесом не более 1,5м. Увеличение свеса этих светильников может предусматриваться в случаях:

а) если это необходимо в целях обеспечения доступа к светильникам для обслуживания;

б) когда это позволяет улучшить экономические показатели установки без ухудшения качества освещения.

При установке светильников с увеличенным свесом конструкция их крепления должна ограничивать возможность раскачивания светильников под воздействием потоков воздуха.

В общем случае расчетная высота подвеса светильников определяется по выражению:

$$H_p = H - (h_c + h_p), \quad (3.2)$$

где H – высота помещения;

h_c – высота свеса светильника;

h_p – высота рабочей поверхности, при отсутствии конкретной величины принимается равной 0,8 м.

3.2.4.3. Схемы размещения светильников

При общем равномерном освещении, а по возможности также и при локализованном освещении, светильники рекомендуется располагать по вершинам квадратных, прямоугольных (с отношением большей стороны прямоугольника к меньшей не более 1,5) или ромбических (с острым углом при вершине ромба близким к 60°) полей.

Светильники с люминесцентными лампами следует преимущественно размещать рядами, параллельными стенам с окнами. Иное расположение допускается:

а) в узких помещениях с окнами на торцевых стенах;

б) в случае, когда это диктуется размещением производственного оборудования.

Ряды выполняются непрерывными или с разрывами (в свету), не превышающими 0,5 расчетной высоты подвеса светильников.

При общем равномерном освещении расстояние от крайних светильников или рядов светильников до стен следует принимать в по-

мещениях, предназначенных для работы примерно втрое меньшим, а в остальных помещениях – вдвое меньше, чем расстояние между рядами светильников или стороны поля. При размещении рабочих мест непосредственно у стен или колонн крайние ряды светильников следует в пределах целесообразности приближать к стенам или колоннам, в частности устанавливать светильники на кронштейнах.

Расстояние между соседними светильниками (L) или их рядами зависит от расчетной высоты подвеса светильников (H_p) и светораспределения (типа светильника). Как было показано в разделе 3.2.4 (выбор светильников по экономическим соображениям) для каждого типа светильников (стандартной кривой силы света) существует наиболее выгодное относительное расстояние (табл. 3.5, 3.6). Тогда

$$L = \left(\frac{L}{H_p} \right) H_p, \quad (3.3)$$

где $\left(\frac{L}{H_p} \right)$ – наиболее выгодное относительное расстояние между светильниками;

H_p – расчетная высота подвеса светильников.

При расположении светильников в вершинах прямоугольника L может быть рассчитана как среднегеометрическое расстояние между соседними светильниками:

$$L = \sqrt{L_a \cdot L_b}, \quad (3.4)$$

где L_a L_b – расстояние между светильниками по длине и ширине помещения.

В производственных помещениях с типовыми строительными модулями (в основном это высокие помещения), характеризующимися стандартными размерами шага колонн (обычно 6 м) и шириной пролета (6, 12, 18 и 24 м), светильники размещаются обычно на фермах в виде продольных рядов. При этом расстояние между светильниками в ряду получается одинаковым и равным шагу колонн 6 м (реже 12 м). Такое расположение светильников не всегда дает возможность достичь равномерности освещения, что в свою очередь ведет к перерасходу электроэнергии.

В этих случаях рекомендуется применение так называемых неравномерных схем размещения светильников [22]. Такие схемы ха-

рактируются неодинаковым количеством светильников на соседних фермах, которое получается либо за счет того, что допускается разное число светильников в одной световой точке, либо за счет неодинаковых расстояний между светильниками в рядах. При трех или четырехрядных схемах средние ряды выполняются менее загруженными, чем крайние, либо расстояние между рядами в центральной части помещения при четырехрядной схеме в 1,3...1,5 раза делается больше, чем расстояние между крайними рядами.

Такие неравномерные схемы размещения светильников уменьшают неравномерность освещенности, а, следовательно, и расход электроэнергии.

На рис. 3.2 приведены рекомендуемые схемы размещения светильников с типовыми строительными модулями. Конкретная схема размещения может быть принята по табл. 3.7. В данной таблице приводится строительный модуль помещения, принятые в проекте: высота подвеса светильников, нормируемая освещенность, кривая светораспределения светильников – по которым определяется рекомендуемая схема размещения светильников.

Таблица 3.7

Рекомендуемые номера схем размещения (по рис. 3.2) и типы кривых силы света светильников для стандартных помещений

Нормируемая освещенность, E , лк	Высота устан. H_p , м	Строительный модуль помещения									
		Светильники с ДРЛ					Светильники с ДРИ				
		6×6	6×12	6×18	6×24	12×18	6×6	6×12	6×18	6×24	12×18
150	6,0	7, Д	2, Д	8, Д			9, Д	1, Д	7, Д	14, Д	
	7,0	1, Д	9, Д	16, Д			9, Д	1, Г	1, Д	9, Д	
	8,5	9, Д	1, Д	6, 7, Д	8, Д	3, Д	9, Г	1, Г	12, Г	7, Г	2,14, Д
	9,5	9, Д	7, 10, Д		8, Д	3, Д	4, Г	15, Г	12, Г	7, Г	13, Г
	11	1, Г	1, Г	9, Г	1, Д	3, Д	4, Г	1,5, Г	1,5, Г	1, Г	13, Г
	12,5		7, 10, К	9, Г	1,5, Д	3,16, Г		9, Г	4, Г	1,5, Г	1, Г
	14,5		1, К	9, Г	10, Г	16, Г		9, Г	4, Г	1,5, Г	1, Г
	16,0			9, Г	6, Г	7, Г			4, Г	1,5, Г	1, Г
	18,0			9, Г	6, Г	7, Г			4, К	1,5, К	9, Г
	20,0			9, К	6, К	7, Г			1,5, К	1,5, К	9, Г
	21,5			9, К	6, К	3, К			1,5, К	4, К	9, Г
	23,5			9, К	1,5, К	8, К			1,5, К	4, К	12, К
25,0			9, К	1,5, К	8, К			1,5, К	4, К	12, К	
300	6,0	5,6, Д	2, Д				1,5, Г	12, Д	7, Д	15, Д	
	7,0	6,7, Г	14,2 Д	8, Д				1, Г	7, Г	14, Д	
	8,5		16, Г	3, Д			9, Г	1, Г	7, Г	9, Г	15, Д
	9,5	9, Г	9, Г	3, Д	11, Д	3,8, Д	9, Г	9, Г	6,7, Г	9, Г	13, Г
	11	1, Г	1, Г	15, Г	9, Д	3, Г	9, Г	9, Г	6,7, Г	9, Г	13, Г
	12,5		1, Г	6,7, Г	9, Д	3,8, Г		4, Г	1,5, Г	12, Г	12, Г
	14,5		1, К	1, Г	12, Г	7, Г		4, Г	1,5, Г	12, Г	12, Г
	16,0			1, Г	12, Г	2, Г			1,5, Г	12, Г	14, Г
	18,0			1, Г	12, Г	2, Г			1, Г	12, К	2, Г
	20,0			4, Г	12, К	2, К			1, К	12, К	7, К
	21,5			1, К	12, К	2, К			9, К	12, К	7, К
	23,5			6, К	12, К	3,8, К			9, К	1,5, К	7, К
25,0			6, К	9, К	1, К			9, К	1,5, К	7, К	

Продолжение табл. 3.7

Нормируемая освещенность, E , лк	Высота устан. H_p , м	Строительный модуль помещения									
		Светильники с ДРЛ					Светильники с ДРИ				
		6×6	6×12	6×18	6×24	12×18	6×6	6×12	6×18	6×24	12×18
500	6,0	2, Д	3,8, Д				12, Д	13, Г	16, Д	8, Д	
	7,0	6,7, Г	3, Д	16, Д			5, Г	1, Г	15, Г	14, Д	
	8,5		9, Д	14, Д			5, Г	1, Г	15, Г	8, Г	16, Д
	9,5	1, Г	7, Г	15, Г	8, Д		4, Г	1, Г	15, Г	12, Г	3, Г
	11	6,7, К	7, Г	9, Г	1, Д	2, Д	4, Г	12, Г	12, Г	12, Г	3, Г
	12,5		12, Г	9, Г	5, Д	3, Г		12, Г	1,5, Г	12, Г	15, Г
	14,5		12, К	9, Г	1, Г	8, Г		12, Г	12, Г	12, Г	15, Г
	16,0			9, Г	1, Г	7, Г			12, Г	2, Г	15, Г
	18,0			9, Г	1, Г	7, Г			14,2, Г	2, Г	15, Г
	20,0			9, Г	1, Г	7, Г			12, К	2, К	16, Г
	21,5			9, К	1, Г	3, К			12, К	2, К	16, Г
	23,5			9, К	1, Г	3, К			12, К	6,7, К	16, К
25,0			9, К	1,5, К	3,8, К			12, К	6, К	16, К	

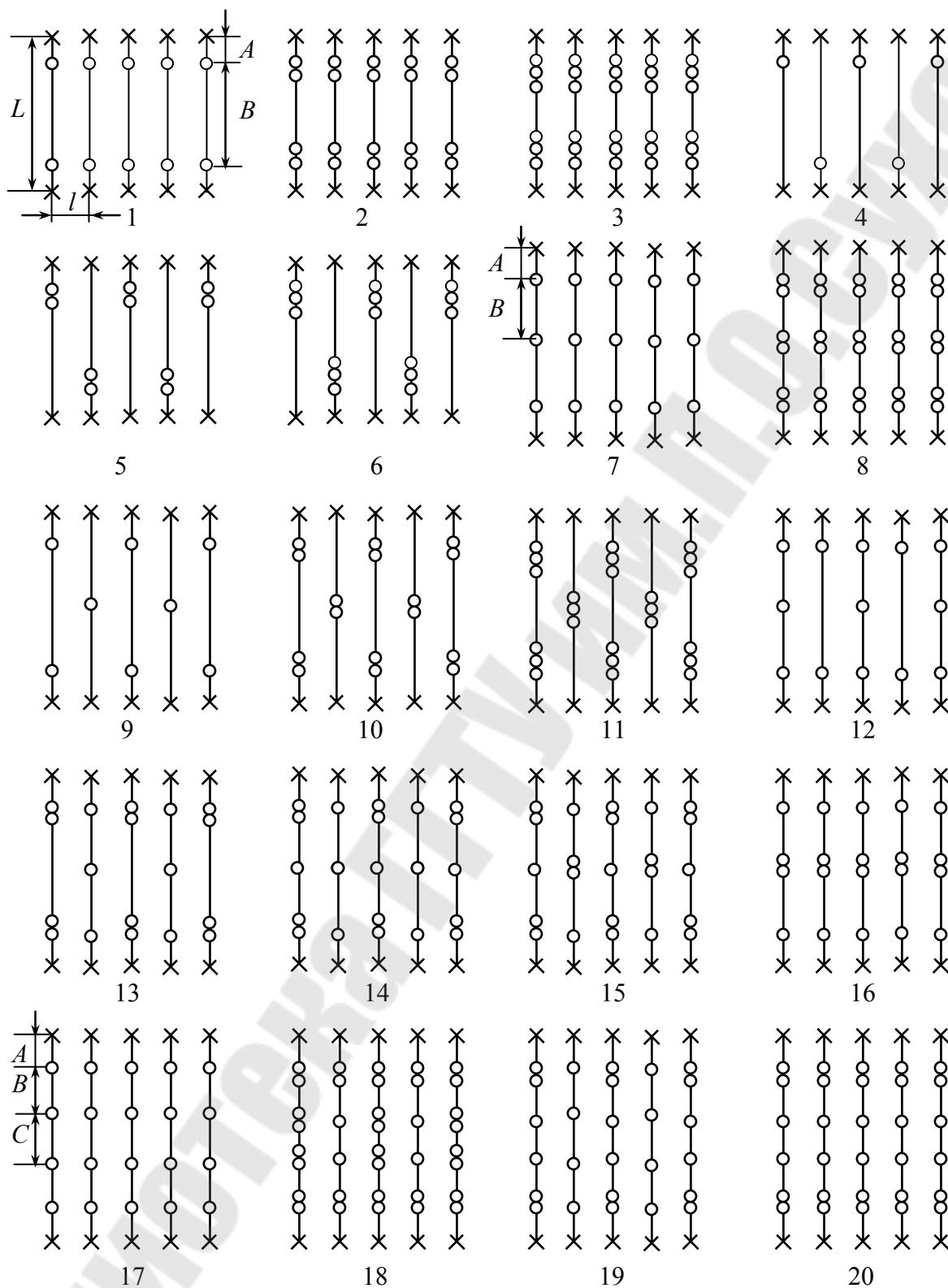


Рис. 3.2. Схема эффективного размещения светильников в пролетах производственных зданий:

о – светильник, × – колонна, L – ширина пролета, l – шаг колонн, 1-20 – номера схем размещения; для 1-6 – $B/A = 4$; для 7-16 $B/A = 3...3,5$; для 17-20 $B/A = 2...2,5$; $C/A = 1,3...1,5$

Может быть по табл. 3.7 решена и обратная задача – определение экономичного типа светораспределения светильников (выбор светильника) по высоте подвеса светильников, схеме их размещения и нормируемой освещенности.

Таким образом, при проектировании ОУ конкретного помещения вначале выбирается целесообразный ИС (п. 3.2.2), нормируемая освещенность и коэффициент запаса (п. 3.2.3). Далее выбирается тип светильника (п. 3.2.4.1) и высота его подвеса (п. 3.2.4.2). Если в качестве ИС приняты лампы ДРЛ или ДРИ и помещение, в котором проектируется ОУ имеет ферменные перекрытия, то в зависимости от величины нормируемой освещенности, строительного модуля помещения с учетом предварительно предполагаемой высоты подвеса светильников по табл. 3.7 определяется схема размещения светильников и ориентировочный тип их светораспределения, при которых обеспечивается минимум затрат и расхода электроэнергии на освещении. При выборе схемы размещения светильников возможна корректировка высоты подвеса светильников.

Если в помещении отсутствуют ферменные перекрытия, то выбор схем их размещения выполняется в соответствии с п. 3.2.4.3 (по L/H_p – относительному расстоянию между светильниками).

3.2.5. Светотехнический расчет освещения

3.2.5.1. Общие рекомендации по светотехническим расчетам

Светотехнические расчеты позволяют выполнить следующее:

а) определить количество и единичную мощность источников света осветительной установки, обеспечивающей требуемую освещенность в помещении (на рабочей поверхности);

б) для существующей (спроектированной) осветительной установки рассчитать освещенность в любой точке поверхности освещаемого помещения;

в) определить качественные показатели осветительной установки (коэффициент пульсации, цилиндрическую освещенность, показатели ослепленности и дискомфорта).

Основной светотехнический расчет освещения заключается в решении задач по приведенным выше пунктам а) и б). Для этой цели применяются два метода расчета электрического освещения: метод коэффициента использования светового потока и точечный метод.

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

поверхностей, в основном для расчета светового потока источника (источников) света. Этот метод позволяет рассчитывать также среднюю освещенность горизонтальной поверхности с учетом всех падающих на нее потоков, как прямых, так и отраженных. Он не применим при неравномерном размещении светильников, расчете освещенности в характерных точках как негоризонтальных, так и горизонтальных поверхностей.

Упрощенной формой метода коэффициента использования светового потока является метод удельной мощности на единицу освещаемой площади. Применяется этот метод для ориентировочных расчетов общего равномерного освещения. Максимальная погрешность расчета по методу удельной мощности составляет $\pm 20\%$.

Точечный метод расчета освещения позволяет определить освещенность в любой точке поверхности освещаемого помещения при любом равномерном или неравномерном размещении светильников. Он часто используется как проверочный метод для расчета освещенности в характерных точках поверхности. С помощью точечного метода можно проанализировать распределение освещенности по всему помещению, определить минимальную освещенность не только на горизонтальной, но и наклонной поверхности, рассчитать аварийное и местное освещение.

Основной недостаток точечного метода расчета заключается в неучете отраженного светового потока от стен, потолка и рабочей поверхности помещения.

В тех случаях, когда не может быть применен ни один из названных методов, например, при расчете неравномерного освещения помещения со значительными отражающими свойствами стен, потолка и рабочей поверхности, то используют оба метода, действуя комбинированным способом.

3.2.5.2. Метод коэффициента использования светового потока

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

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

$$\eta = \frac{\Phi_p}{n \cdot \Phi_l} = \frac{\Phi_{св} + \Phi_{отр}}{n \cdot \Phi_l}, \quad (3.5)$$

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

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

Φ_l – световой поток лампы, лм;

Φ_p – результирующий световой поток, лм;

n – количество ламп в освещаемом помещении.

При расчете по методу коэффициента использования световой поток светильника, лампы, или ряда светильников необходимый для создания заданной минимальной освещенности определяется по формуле

$$\Phi = \frac{E_{\min} \cdot K_3 \cdot z \cdot S}{n \cdot \eta}, \quad (3.6)$$

где E_{\min} – заданная минимальная (нормируемая) освещенность, лк;

K_3 – коэффициент запаса (принимается по табл. 3.2);

S – площадь помещения, м²;

z – отношение $E_{ср}/E_{\min}$ (коэффициент неравномерности освещения, принимается 1,15 для ЛН и ДРЛ, 1,1 – для ЛЛ);

n – количество светильников, ламп или рядов светильников (как правило, принимается до расчета по сетке размещения светильников);

η – коэффициент использования светового потока, о.е.

В практике светотехнических расчетов значение η определяется из таблиц [2], связывающих геометрические параметры помещений (индекс помещения i) с их оптическими характеристиками – коэффициентами отражения (ρ_n – потолка, ρ_c – стен, ρ_p – рабочей поверхности или пола) и КСС конкретных типов светильников.

По мере того, как число типов светильников, применяемых в практике непрерывно возрастает, обращение к таблицам, рассчитанным для конкретных светильников, затрудняется. Такое положение привело к разработке [10] унифицированных таблиц значений коэффициента использования, применительно к классификационным КСС (табл. 3.8).

Тогда коэффициент использования светового потока определится по выражению:

$$\eta = \eta_c \cdot \eta_{\text{п}}, \quad (3.7)$$

где η_c – к.п.д. светильника, о.е.;

$\eta_{\text{п}}$ – к.п.д. помещения – унифицированное значение коэффициента использования, принятое по табл. 3.8.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p(A + B)}, \quad (3.8)$$

где A и B – соответственно длина и ширина помещения, м;

H_p – расчетная высота подвеса светильников, м.

Таблица 3.8

Значение коэффициентов использования (к.п.д. помещения)

Тип КСС	Значение $\eta_{\text{п}}$, %											
	при $\rho_{\text{п}} = 0,7$; $\rho_{\text{с}} = 0,5$; $\rho_{\text{р}} = 0,3$						при $\rho_{\text{п}} = 0,7$; $\rho_{\text{с}} = 0,5$; $\rho_{\text{р}} = 0,1$					
	и i равном						и i равном					
	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5
М	35	50	61	73	83	95	34	47	56	66	75	86
Д-1	36	50	58	72	81	90	36	47	56	63	73	79
Д-2	44	52	68	84	93	103	42	51	64	75	84	92
Г-1	49	60	75	90	101	106	48	57	71	82	89	94
Г-2	58	68	82	96	102	109	55	64	78	86	92	96
Г-3	64	74	85	95	100	105	62	70	79	80	90	93
Г-4	70	77	84	90	94	99	65	71	78	83	86	87
К-1	74	83	90	96	100	106	69	76	83	88	91	92
К-2	75	84	95	104	108	115	71	78	87	95	97	100
К-3	76	85	96	106	110	116	73	80	90	94	99	102
Л	32	49	59	71	83	91	31	46	55	65	74	83

Тип КСС	Значение $\eta_{\text{п}}$, %											
	при $\rho_{\text{п}} = 0,7$; $\rho_{\text{с}} = 0,3$; $\rho_{\text{р}} = 0,1$						при $\rho_{\text{п}} = 0,5$; $\rho_{\text{с}} = 0,5$; $\rho_{\text{р}} = 0,3$					
	и i равном						и i равном					
	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5
М	26	36	46	56	67	80	32	45	55	67	74	84
Д-1	28	40	49	59	68	74	36	48	57	66	76	85
Д-2	33	43	56	74	80	76	42	51	65	71	90	85
Г-1	42	52	69	78	73	76	45	56	65	78	76	84
Г-2	48	60	73	84	90	94	55	66	80	92	96	403
Г-3	57	66	76	84	84	91	63	72	83	91	96	100
Г-4	62	69	76	81	84	85	68	73	81	87	91	94
К-1	65	73	81	86	89	90	70	78	86	92	96	100
К-2	67	75	84	93	97	100	72	80	91	99	103	108
К-3	68	77	86	95	98	101	74	83	93	101	106	170
Л	24	40	50	62	71	77	32	47	57	69	79	90

Продолжение табл.3.8

Тип КСС	Значение η_n , %											
	при $\rho_n = 0,5$; $\rho_c = 0,5$; $\rho_p = 0,1$						при $\rho_n = 0,5$; $\rho_c = 0,3$; $\rho_p = 0,1$					
	и i равном						и i равном					
	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5
М	31	43	53	63	72	80	23	36	45	56	65	75
Д-1	34	47	54	63	70	77	27	40	48	55	65	73
Д-2	40	48	61	74	82	84	33	42	52	69	75	86
Г-1	44	53	69	77	83	80	41	48	64	76	70	88
Г-2	53	63	76	85	90	94	48	58	72	83	86	93
Г-3	61	68	78	84	88	91	57	65	75	83	86	90
Г-4	65	71	78	81	84	85	62	68	74	81	83	85
К-1	68	77	83	86	89	90	64	73	80	86	88	90
К-2	71	78	87	93	98	99	68	74	84	92	93	99
К-3	72	79	88	94	97	99	68	76	85	93	95	99
Л	30	45	55	65	70	78	24	40	49	60	70	76
Тип КСС	Значение η_n , %											
	при $\rho_n = 0,7$; $\rho_c = 0,5$; $\rho_p = 0,3$						при $\rho_n = 0$; $\rho_c = 0$; $\rho_p = 0$					
	и i равном						и i равном					
	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5
М	17	29	38	46	58	67	16	28	38	45	55	65
Д-1	27	35	42	52	61	68	21	33	40	49	58	66
Д-2	28	36	48	63	75	81	25	33	47	61	70	78
Г-1	35	45	60	73	68	77	34	44	56	71	68	74
Г-2	43	54	68	79	85	90	43	53	66	77	82	86
Г-3	53	62	73	80	84	86	53	61	71	78	82	85
Г-4	61	66	72	78	81	83	59	65	71	78	80	81
К-1	62	71	77	83	86	88	60	69	77	84	85	86
К-2	68	72	80	89	93	97	65	71	79	88	92	95
К-3	64	73	83	90	94	97	64	72	81	88	91	94
Л	20	35	44	48	65	69	17	33	42	53	63	70
Л-Ш	-	-	-	-	-	-	12	26	35	47	58	68
Ш	-	-	-	-	-	-	9	17	25	36	49	62

Для помещений с $A/B \geq 10$, можно считать $i = B/H_p$.

Приблизительные значения коэффициентов отражения (ρ_n , ρ_c , ρ_p) можно принять по следующим характеристикам помещения:

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

Если в формулу 3.6 в качестве n подставлялось значение, равное количеству ламп, то по рассчитанному световому потоку выбирается ближайший стандартный источник света (лампа) в пределах допустимых отклонений – $-10...+20\%$. Если такое приближение не выполняется, то корректируется число ОП.

Корректировка ИС может осуществляться путем установки в каждой из точек двух – трех и более светильников, а также путем изменения расчетной высоты подвеса светильников и следовательно изменения количества рядов светильников.

При проектировании освещения на базе светящихся линий в формулу (3.6) в качестве n подставляется количество рядов светильников и расчетным световым потоком является световой поток одного ряда светильников (Φ_p). Тогда по найденному Φ_p выполняется компоновка ряда, т.е. определяется число и мощность светильников, при которых Φ_p близко к необходимому.

Определяются габаритные размеры светильников, и суммарную длину ряда светильников сопоставляют с длиной помещения. При этом возможны следующие случаи:

а) суммарная длина светильников превышает длину помещения – необходимо или применить более мощные лампы, или увеличить число рядов, или компоновать ряды из сдвоенных, строенных и т.д. светильников;

б) суммарная длина светильников равна длине помещения – задача решается путем устройства непрерывного ряда светильников;

в) суммарная длина светильников меньше длины помещения – принимается ряд с равномерными разрывами между светильниками.

По выражению 3.6 может решаться и обратная задача – по заданному световому потоку лампы, светильника для обеспечения нормируемой освещенности в помещении рассчитываться количеством источников света, светильников.

3.2.5.3. Метод удельной мощности освещения на единицу площади

Это упрощенная форма метода коэффициента использования.

Удельная мощность освещения представляет собой отношение суммарной мощности всех источников света к площади освещаемого ими помещения – $P_{уд}$ [Вт/м²].

Для различных типов светильников составлены таблицы удельной мощности [2] в зависимости от нормируемой освещенности, площади помещения и высоты подвеса светильников. Причем, каждая

таблица соответствует определенному сочетанию коэффициентов отражения потолка, стен и рабочей поверхности.

Для некоторых типов светильников в упрощенной форме значения удельных мощностей освещения приведены в табл. 3.9.

Таблица 3.9

Удельная мощность общего равномерного освещения
(учтены значения $\rho_{\text{п}} = 50\%$; $\rho_{\text{с}} = 30\%$; $\rho_{\text{р}} = 10\%$; $K_3 = 1,3$; $z = 1,15$)

Светильник ПЛ-11								
$H_{\text{р}}, \text{ м}$	$S, \text{ м}^2$	Удельная мощность, Вт/м ² , при освещенности, лк равной						
		5	10	20	30	50	75	100
1,5 ... 2	10...15	3,1	5,7	9,9	13,7	21,7	32,6	43,4
	15...25	2,7	5	8,7	12	19,2	28,7	38,3
	25...50	2,3	4,2	7,3	10,3	16,6	24,8	33,1
	50...150	1,9	3,6	6,1	8,4	14,2	21,3	28,4
	150...300	1,8	3,2	5,5	7,7	12,5	18,8	25
	>300	1,7	3,1	5,4	7,4	12,1	18,2	24,2
2 ... 3	10...15	3,6	6,4	11,5	17,2	28,7	43	57,4
	15...25	3,1	5,3	9,4	14,1	23,5	35,2	47
	25...50	2,6	4,4	7,8	11,7	19,5	29,2	39
	50...150	2	3,4	6,5	9,8	16,2	24,4	32,5
	150...300	1,7	3	5,4	8,1	13,5	20,2	27
	>300	1,6	2,8	5	7,5	12,5	18,8	25
3 ... 4	10...15	4,6	8,2	16,3	24,4	40,8	61,1	81,5
	15...20	3,6	6,8	13,5	20,3	33,8	50,8	67,7
	20...30	3,1	5,7	11,4	17,1	28,5	42,8	57
	30...50	2,6	4,6	9,3	14	23,2	34,9	46,5
	50...120	2,2	3,8	7,5	11,3	18,8	28,3	37,7
	120...300	1,7	3,1	6,2	9,3	15,5	23,2	31
	>300	1,4	2,6	5,3	7,9	13,2	19,8	26,4

Расчет данным методом сводится к следующему:

а) по одной из таблиц [2] или 3.9 наиболее близко отвечающей заданным условиям принимается величина удельной мощности. При освещенности более 100 лк величина удельной мощности умножается на коэффициент, пропорциональный нормируемой освещенности;

б) определяется установленная мощность источников света в помещении:

$$P_{\text{уст}} = P_{\text{уд}} \cdot S, \quad (3.9)$$

где S – площадь освещаемого помещения;

в) составляется схема (сетка) размещения светильников (см. п. 3.2.4.4) и подсчитывается их количество n ;

г) определяется мощность светильника (источника света):

$$p = \frac{P}{n}. \quad (3.10)$$

Если освещение выполнено светильниками с люминесцентными лампами, то по установленной мощности $P_{\text{уст}}$ определяется мощность одного ряда и далее осуществляется компоновка его светильниками.

3.2.5.4. Точечный метод расчета освещения

Метод является обязательным для расчета освещения негоризонтальных поверхностей (наклонных, вертикальных). Этим методом рассчитывается общее локализованное освещение, местное освещение, наружное освещение, эвакуационное, т.е. те системы освещения, которые обеспечивают неравномерность размещения светильников. Часто этот метод применяется как проверочный для расчета освещенности в исследуемых характерных точках при спроектированной уже системе освещения. Одной из особенностей метода является то, что он не учитывает отражающую способность потолка, стен, рабочей поверхности. Существует две интерпретации точечного метода расчета:

1) точечный метод с использованием пространственных изолюксов, применяется для расчета освещения от точечных ИС (ЛН, ДРЛ, ДРИ, ДНаТ, ЛЛ если длина их не превышает $0,5H_p$);

2) точечный метод с использованием линейных изолюксов (применяется для расчета освещения от светящихся линий (непрерывный ряд светильников с ЛЛ или ряд с разрывами между светильниками меньше $0,5H_p$ и длина светильника больше $0,5H_p$).

Точечный метод с использованием пространственных изолюксов

Пространственные изолюксы – это кривые равных значений освещенности, построенные для стандартных светильников с условной лампой со световым потоком 1000 лм в прямоугольной системе координат в зависимости от расчетной высоты подвеса светильника H_p и расстояния d – от проекции светильника на горизонтальную поверхность до контрольной (характерной) точки.

Порядок расчета данным методом следующий:

а) на плане помещения с известным расположением светильников намечается одна или две контрольные точки, в которых ожидается наименьшая освещенность. Например т. А (рис. 3.3);

б) определяются расстояния от контрольной точки до ближайших светильников, т.е. расстояния d_1, d_2, \dots, d_6 ;

в) в зависимости от типа светильников по кривым пространственных изолюкс [2] для каждого значения H_p и d находятся условные освещенности в люксах, т.е. соответственно e_1, e_2, \dots, e_6 . Значения e в большинстве случаев определяются путем интерполирования между значениями, указанными у ближайших изолюкс.

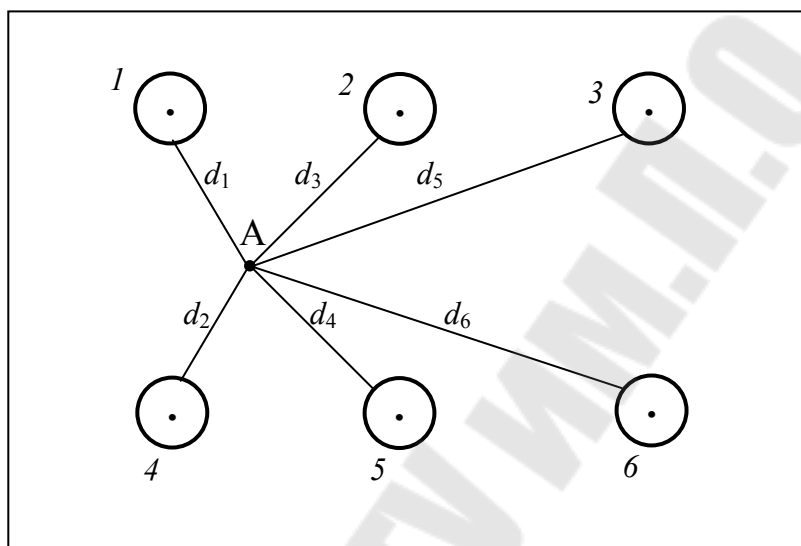


Рис. 3.3. Фрагмент плана помещения с расположением светильников и контрольной точки А

Если заданные H_p и d выходят за пределы шкал на графиках в ряде случаев возможно обе эти координаты увеличить (уменьшить) в n раз, так чтобы точка оказалась в пределах графика и определенное по графику значение e увеличить (уменьшить) в n^2 раз.

При отсутствии изолюкс для данного светильника можно воспользоваться графиком для излучателя, имеющего по всем направлениям силу света 100 кд (рис. 3.4).

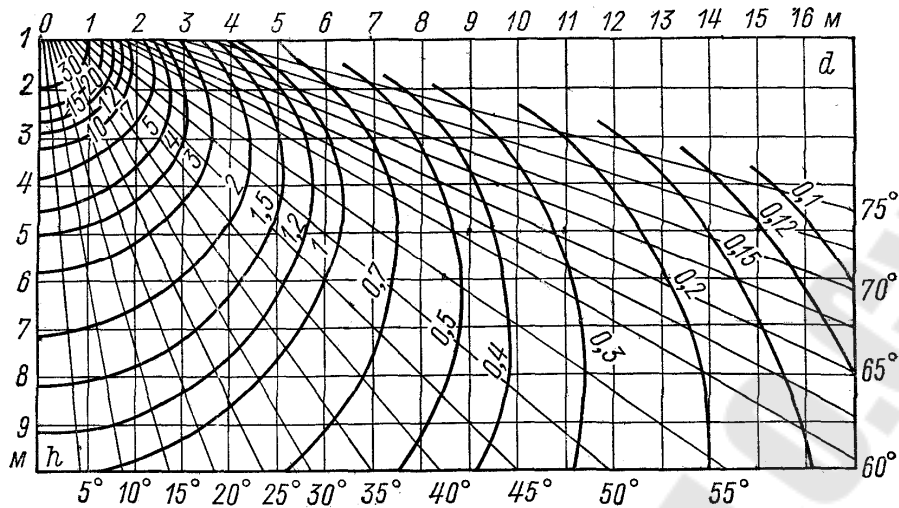


Рис. 3.4. Пространственные изолуксы условной горизонтальной освещенности. Сила света светильника по всем направлениям 100 кд

Значение условной освещенности e_{100} определяется по координатам H_p и d , одновременно по радиальным лучам находится значение α и по кривой силы света светильников I_α , тогда

$$e = e_{100} \frac{I_\alpha}{100}; \quad (3.11)$$

Если исследуемая точка находится на негоризонтальной поверхности каждая условная освещенность должна быть пересчитана на угол наклона освещаемой поверхности по следующей исходной формуле:

$$E_A = \frac{I_\alpha \cdot \cos^3 \alpha}{H_p^2 \cdot K_3} (\cos \theta \pm \frac{d}{H_p} \cdot \sin \theta), \quad (3.12)$$

где I_α – сила света излучателя по направлению т. А (рис. 3.5);

α – угол между направлением к расчетной точке осью симметрии светильника;

θ – угол наклона расчетной плоскости по отношению к плоскости, перпендикулярной оси симметрии светильника (горизонтальная плоскость). Знак « \pm » принимается при условии

$$\theta > \frac{\pi}{2} + \alpha.$$

В частном случае при горизонтальном расположении поверхности $\theta = 0$:

$$E_{\Gamma} = \frac{I_{\alpha} \cos^3 \alpha}{H_p^2 K_3}. \quad (3.13)$$

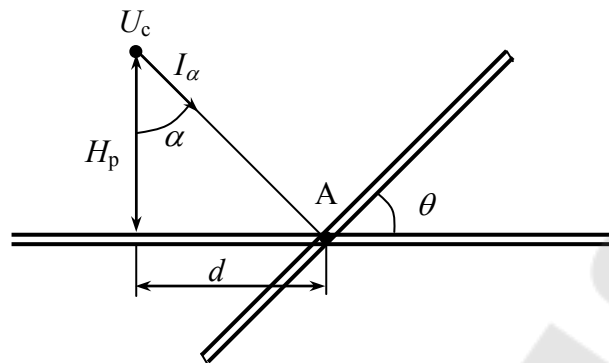


Рис. 3.5. К расчету освещенности от точечного источника света

Освещенность наклонной плоскости, выраженная через освещенность горизонтальной плоскости:

$$E_{\text{H}} = E_{\Gamma} \left(\cos \theta \pm \frac{d}{H_p} \sin \theta \right). \quad (3.14)$$

Освещенность вертикальной поверхности:

$$E_{\text{B}} = E_{\Gamma} \frac{d}{H_p} \quad (3.15)$$

или

$$E_{\text{B}} = E_{\Gamma} \operatorname{tg} \alpha. \quad (3.16)$$

г) находится общая условная освещенность контрольной точки:

$$\sum e = e_1 + e_2 + \dots + e_6; \quad (3.17)$$

д) определяется потребный световой поток лампы в одном светильнике по формуле:

$$\Phi = \frac{1000 E_{\min} K_3}{\mu \sum e}, \quad (3.18)$$

где E_{\min} – нормируемая освещенность, лк;

K_3 – коэффициент запаса;

μ – коэффициент, учитывающий освещенность от удаленных источников света, принимается равным 1,1...1,2;

е) по полученному расчетному световому потоку выбирают мощность стандартной лампы.

При выборе контрольной точки на вертикальной или наклонной плоскости освещенность ее может быть определена по формуле 3.12.

Точечный метод с использованием линейных изолукс применяется для расчета освещения от светящихся линий.

Светящей линией является непрерывный ряд светильников с люминесцентными лампами или ряд с разрывами между светильниками (λ) при условии, если $\lambda < 0,5H_p$, или отдельный излучатель (светильник), если его длина превышает $0,5H_p$.

Для расчета освещения от светящихся линий применяются линейные изолуксы светильников, составленные при плотности светового потока $\Phi'_d = 1000 \text{ лм/м}$ и расчетной высоте $H_p = 1 \text{ м}$ в координатах

$$p' = \frac{p}{H_p} \text{ и } L' = \frac{L}{H_p} \text{ (см. рис. 3.6).}$$

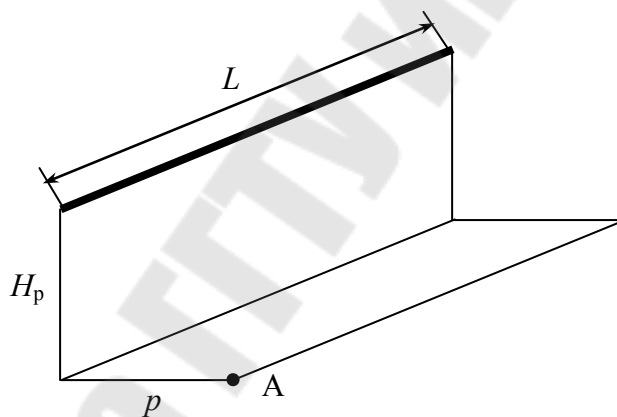


Рис. 3.6. Светящая линия (L) с указанием размеров, определяющих положение ее по отношению к контрольной точке;
 H_p – расчетная высота подвеса светильников;
 p – расстояние от контрольной точки в плоскости перпендикулярной светящей линии до перпендикуляра, опущенного на расчетную плоскость от светящей линии

На рис. 3.7-3.10 приведены линейные изолуксы для некоторых типов светильников с люминесцентными лампами.

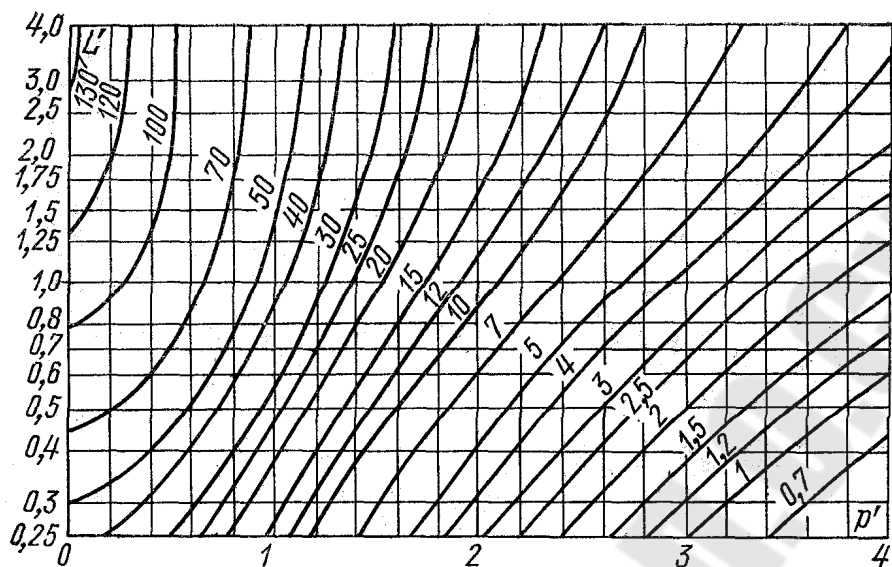


Рис. 3.7. Линейные изолюксы для светильников ПВЛМ с 2 лампами ЛБР

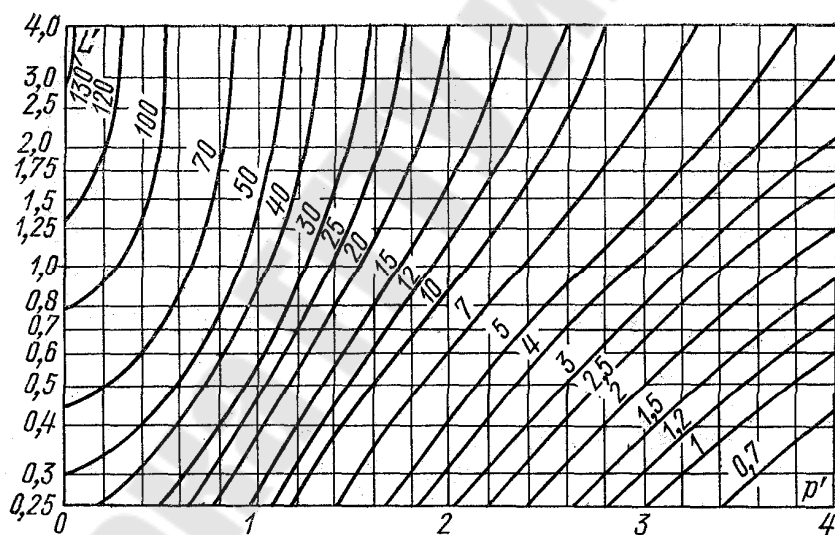


Рис. 3.8. Линейные изолюксы для светильников группы 1

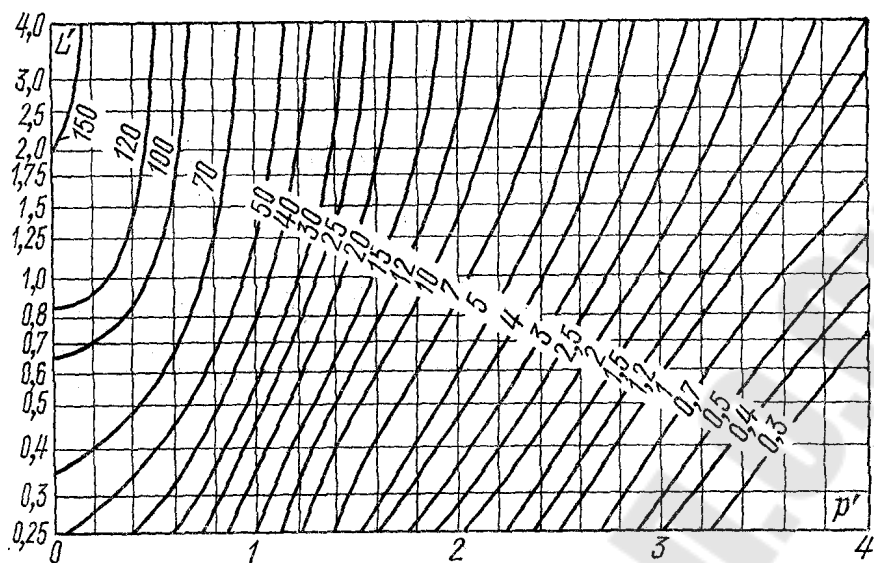


Рис. 3.9. Линейные изолюксы для светильников группы 2

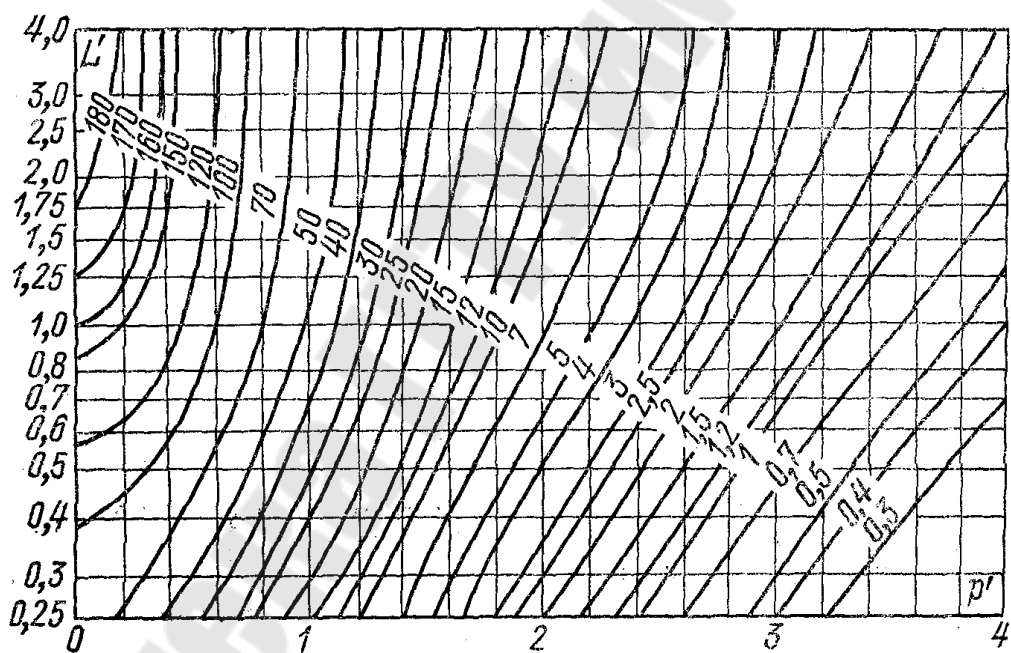


Рис. 3.10. Линейные изолюксы для светильников группы 3

Расчет светового потока всех ламп в ряду выполняется в следующей последовательности:

- а) на плане помещения с указанием светящихся линий отмечают расчетную точку в конце ряда светильников и лежащую посередине между параллельными рядами. Находят ее относительные координаты, т.е. p' и L' ;

б) по кривым линейных изолюкс ([2] или рис. 3.7-3.10) определяют относительную освещенность ε по найденным p' и L' .

в) потребный световой поток ламп в ряду рассчитывают по следующей формуле:

$$\Phi_p = \frac{1000 E_{\min} K_3 H_p L}{\mu \sum \varepsilon}, \quad (3.19)$$

где μ – коэффициент, учитывающий освещенность от удаленных источников света, $\mu = 1,1$;

$\sum \varepsilon$ – сумма относительных освещенностей от ближайших рядов (части рядов) светильников.

г) по Φ_p подбирается число и мощность ламп в ряду.

По формуле 3.19 может быть решена задача определения E в контрольной точке A . При этом, если контрольная точка не находится напротив конца светящей линии, поступают следующим образом. Линия либо разделяется условно на две части, относительные освещенности от которых суммируются (рис. 3.11, а), либо дополняется воображением отрезком, освещенность которого затем вычитается (рис. 3.11, б).

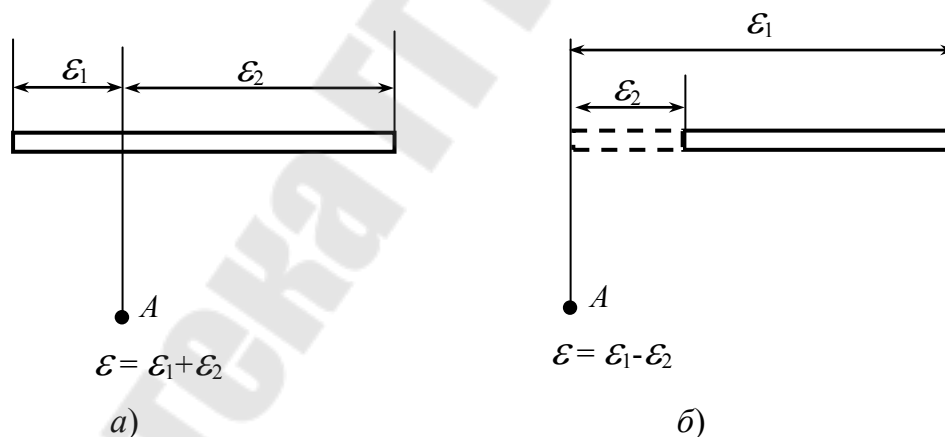


Рис. 3.11. Схема расчета относительной освещенности для точек, не лежащих в конце светящей линии

3.2.5.5. Учет отраженной составляющей освещения

Учет отраженной составляющей необходим в тех случаях, когда основной расчет выполняется точечным методом, а коэффициенты отражения потолка и стен достаточно велики.

Потребный световой поток ламп с учетом отраженной составляющей ($\Phi'_л$) можно определить по выражению:

$$\Phi'_л = \frac{\eta_{пч}}{\eta_{п}} \Phi_{л}, \quad (3.20)$$

где $\Phi_{л}$ – световой поток ламп рассчитанный точечным методом;
 $\eta_{п}$ – коэффициент использования при заданных значениях $\rho_{п}$, $\rho_{с}$, $\rho_{р}$ (определяется по табл. 3.8);

$\eta_{пч}$ – коэффициент использования для «черного» помещения при $\rho_{п} = \rho_{с} = \rho_{р} = 0$ (табл. 3.8).

По результатам выполнения светотехнической части проекта составляется светотехническая ведомость, в которой указываются основные исходные данные освещаемых объектов и результаты светотехнической части проекта.

3.3. Электрическая часть проекта

3.3.1. Выбор напряжения и типа заземления электрической осветительной сети

Для питания осветительных приборов общего внутреннего и наружного освещения, как правило, должно применяться напряжение не выше 220 В переменного и постоянного тока. Это фазное напряжение системы 380/220 В с заземленной нейтралью.

Для питания специальных ламп (ксеноновых, ДРЛ, ДРИ, ДНаТ, рассчитанных на напряжение 380 В) допускается использовать напряжение выше 220 В, но не выше 380 В, в том числе фазное напряжение системы 660/380 В с заземленной нейтралью при соблюдении следующих условий:

- ввод в светильник следует выполнять проводами или кабелем с медными жилами и с изоляцией, рассчитанной на напряжение не менее 660 В;
- должно обеспечиваться одновременное отключение всех фазных проводов системы 380/220 В, вводимых в светильник;
- в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных на светильники должны быть нанесены надписи «380 В»;
- ввод в светильник проводов разных фаз системы 660/380 В запрещается.

Если в цеху применяется система 660/380 В с заземленной или изолированной нейтралью, или 380 В с изолированной нейтралью, то

для питания освещения могут быть применены однофазные или трехфазные трансформаторы 660/380, 660/220 В или 380/220 В мощностью соответственно 250 ВА и 1,5-2,5 кВА.

Для питания светильников местного стационарного освещения с лампами накаливания и ручных (переносных) светильников ремонтного освещения должны применяться напряжения:

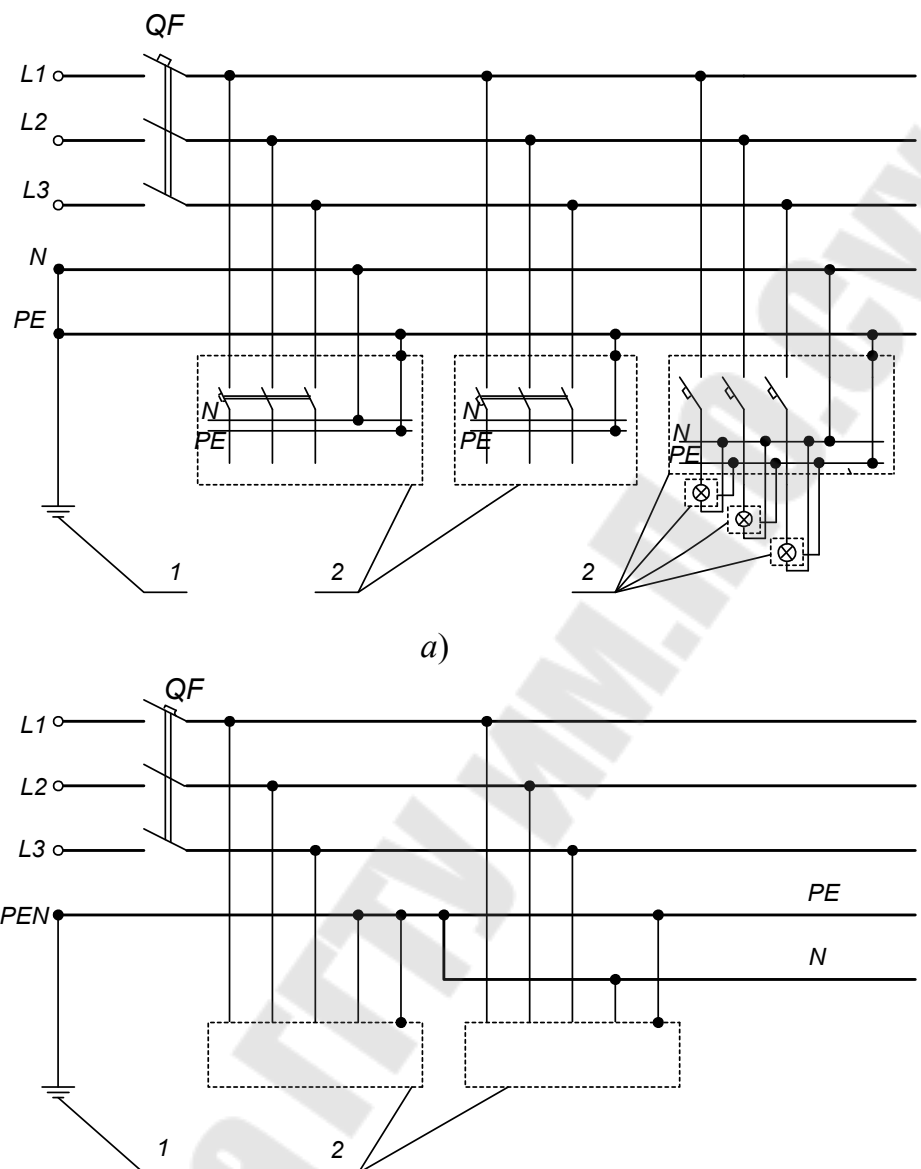
- в помещениях без повышенной опасности – не выше 220 В;
- в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных – не выше 50 В.

Для питания ручных (переносных) светильников ремонтного освещения при наличии особо неблагоприятных условий (теснота, неудобное положение работающего, соприкосновения с большими металлическими, хорошо заземленными поверхностями) должно применяться напряжение не выше 12 В.

Большинство электрических сетей напряжением до 1 кВ выполняются с глухозаземленной нейтралью. Сети с изолированной нейтралью составляют около 30 % всех сетей напряжением до 1 кВ. Применяются эти сети при повышенных требованиях к электробезопасности и надежности электроснабжения.

В соответствии с международным электротехническим стандартом МЭК 364 «Электрические установки зданий», и разработанными на основании его нормативными документами, возможны следующие типы систем заземления электрических сетей: TN-C, TN-S, TN-C-S, TT, IT. До недавнего времени основной системой заземления электрических сетей напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью являлась система TN-C, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении.

В настоящее время питание осветительных установок должно быть выполнено по системе TN-S, в которой нулевой защитный (PE) и нулевой рабочий (N) проводники разделены на всем ее протяжении (рис. 3.12, а) или системе TN-C-S, в которой в питающей части электрической сети функции нулевого защитного проводника и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике PEN, а далее к электроприемникам разделены на два проводника PE и N (рис. 3.12, б).



1 - заземление источника питания ; 2 - открытые проводящие части
 б)

Рис. 3.12. Типы систем заземления: а – система TN – S (нулевой рабочий и нулевой защитный проводники работают раздельно); б – система TN – C – S (в части сети нулевой рабочий и нулевой защитный проводники объединены)

Используемые на рисунках буквенные обозначения имеют следующий смысл.

Первая буква – характер заземления источника питания:

Т – непосредственное присоединение одной точки токоведущих частей источника питания к земле;

N – непосредственная связь открытых проводящих частей с точкой заземления источника питания (обычно заземляется нейтраль в системах переменного тока).

Последующие буквы определяют устройство нулевого рабочего и нулевого защитного проводников:

S – функции нулевого защитного (PE) и нулевого рабочего (N) обеспечиваются отдельными проводниками;

C – функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников объединены в одном проводнике (PEN-проводник).

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

3.3.2. Разработка схем питания осветительных установок

Факторами, определяющими выбор схем питания осветительных установок, являются следующие:

- требования к бесперебойности действия осветительной установки;
- технико-экономические показатели;
- безопасность и простота обслуживания и эксплуатации и удобство управления освещением.

Требования бесперебойности действия осветительных установок обеспечивается выполнением одного из двух видов аварийного освещения:

- освещения безопасности;
- эвакуационного освещения.

Освещение безопасности предназначено для продолжения работы или завершения технологического процесса до определенной стадии. Оно предусматривается в случаях, если отключение рабочего освещения и связанное с этим нарушение обслуживания оборудования и механизмов может вызвать взрыв, пожар, длительное нарушение технологического процесса и т.п.

При выполнении этого вида аварийного освещения предусматривается освещенность на рабочих поверхностях не менее 5 нормируемой освещенности общего рабочего освещения.

Эвакуационное освещение предусматривается для безопасной эвакуации людей при отключении рабочего освещения. Устраивается оно по проходам, проездам и должно обеспечить освещенность на по-

лу проходов (или на земле) не менее 0,5 лк., на открытых территориях не менее 0,2 лк.

В качестве источников света аварийного освещения могут применяться лампы накаливания и разрядные лампы, обеспечивающие мгновенное перезажигание их. Люминесцентные лампы низкого давления применяются только в отапливаемых помещениях с минимальной температурой воздуха 5°C и если напряжения питания не ниже 90 % номинального.

Светильники аварийного освещения выделяются из числа светильников рабочего освещения. Однако, если мощности ламп рабочего освещения относительно большие, то рекомендуется устанавливать дополнительные светильники.

Обычно светильники аварийного освещения должны работать одновременно с рабочим освещением. Однако, возможно и нормально отключенное положение аварийного освещения. Включается оно при исчезновении рабочего освещения вручную или автоматически. Для этих целей выпускаются станции автоматического переключения освещения типов БУ и ПУ.

Питание светильников аварийного освещения осуществляется, как правило, от независимого источника, например от второго трансформатора двухтрансформаторной подстанции, от первого трансформатора которой запитано рабочее освещение помещения, в котором предполагается аварийное освещение. В особо ответственных случаях в качестве независимого источника питания могут применяться аккумуляторные батареи, дизель-генераторы.

Эвакуационное освещение в помещениях с естественным светом может быть запитано от одного источника питания совместно с рабочим освещением, независимо от сети рабочего, начиная от щита ТП или ВРУ.

Источниками питания осветительных установок могут быть:

- распределительные устройства до 1 кВ цеховых трансформаторных подстанций (ТП);
- вводно-распределительные устройства;
- вводные устройства;
- магистральные шинопроводы;
- отпайки от воздушных ЛЭП.

Ввиду повышенных требований к качеству напряжения осветительных установок и необходимости сохранения освещения в периоды ремонтов не рекомендуется питать освещение от силовых распре-

делительных шкафов (ШР) и распределительных шинопроводов (ШРА).

Электрические сети освещения в соответствии с ПУЭ (7 издание) подразделяются на питающие, распределительные и групповые.

Питающая сеть – это сеть от распределительного устройства подстанции или ответвления от воздушных линий электропередачи до вводного (ВУ), вводно-распределительного устройства (ВРУ) или главного распределительного щита (ГРЩ).

Распределительная сеть – это сеть от ВУ, ВРУ, ГРЩ до групповых щитков освещения.

Групповая сеть – это сеть от групповых щитков освещения до штепсельных розеток, источников света.

В соответствии с государственными стандартами, разработанными на основании МЭК 364 электрические сети характеризуются:

1) Типами систем токоведущих проводников:

- однофазная двухпроводная;
- однофазная трехпроводная;
- двухфазная трехпроводная;
- двухфазная четырехпроводная;
- трехфазная четырехпроводная;
- трехфазная пятипроводная.

2) Типами систем заземления электрических сетей (см. п. 3.3.1).

После определения источника или источников питания, от которых предполагается запитывать осветительную установку, с учетом следующих факторов осуществляется формирование групповых линий осветительной сети:

1. В относительно больших, в основном производственных помещениях, формируется несколько групповых линий. Количество их не регламентируется и определяется количеством групповых щитков и количеством линейных их присоединений. Управление освещением осуществляется автоматическими выключателями групповых щитков. В малых помещениях организуется одна групповая линия, или одну групповую линию могут образовать источники света нескольких малых помещений. В этих случаях непосредственное управление освещением осуществляется обычными выключателями на 6-10 А, установленными в самих помещениях, а защита и коммутация групповой линии – линейным автоматическим выключателем группового щитка. Групповые линии организуются параллельно оконным проемам и с учетом того, чтобы распределение электроэнергии по ним осуществ-

лялось по направлению распределения электроэнергии от ИП к источникам света без обратных или с минимальными обратными потоками электроэнергии.

2. При количестве источников света в помещении (групповой линии) более 3 и при необходимости изменения освещенности путем различного количества включения источников света предусматриваются дополнительные аппараты местного управления.

3. С точки зрения технико-экономических расчетов целесообразная протяженность трехфазных пятипроводных линий осветительной сети при напряжении 380/220 В должна быть до 100 м, однофазных трехпроводных – до 40 м.

4. Групповая линия, как правило, должна содержать на фазу не более 20 ламп накаливания, газоразрядных ламп высокого давления (ДРЛ, ДРИ, ДНаТ) или до 50 люминесцентных ламп низкого давления. Для линий, питающих многоламповые люстры, число ламп на фазу не ограничивается.

5. Групповые линии сетей внутреннего освещения должны быть защищены предохранителями или автоматическими выключателями на рабочий ток не более 25 А. Групповые линии, питающие разрядные лампы единичной мощностью 125 Вт и более и лампы накаливания на напряжение выше 42 В единичной мощностью 500 Вт и более допускается защищать вставками предохранителей или расцепителями автоматических выключателей на ток до 63 А.

В жилых и общественных зданиях на однофазные группы освещения лестниц, этажных коридоров, холлов и т.п. допускается присоединять до 60 ламп накаливания мощностью до 60 Вт.

В групповых линиях, питающих лампы мощностью 10 кВт и больше, на каждую фазу должно присоединяться не более одной лампы.

Групповые линии осветительной сети объединяются групповыми щитками освещения, которые в свою очередь объединяются в соответствующие схемы.

Рекомендуется каждой линией, отходящей от ИП, обеспечивать питание в пределах пяти групповых щитков освещения.

При существующем многообразии схем ОУ их можно классифицировать следующим образом:

– радиальные (рис. 3.13, а), магистральные (рис. 3.13, б) и смешанные;

– без магистрального(ых) и с магистральным(ми) (рис. 3.14) щитком(ами).

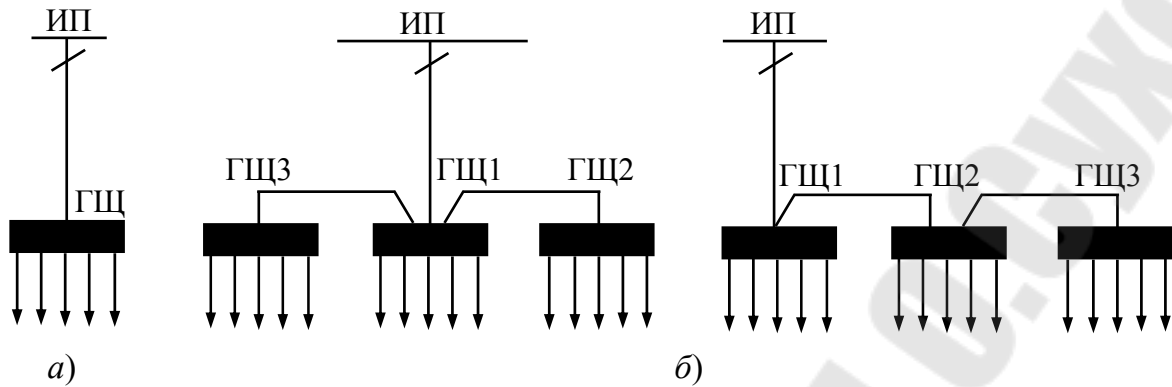


Рис. 3.13. Радиальные (а) и магистральные (б) схемы питания осветительных установок без магистрального щитка

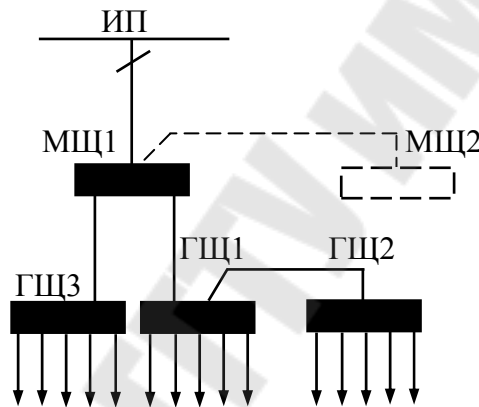


Рис. 3.14. Схемы питания с магистральным(ми) щитками освещения

В схемах: ИП – источник питания, ГЩ – групповой щиток освещения, МЩ – магистральный щиток освещения.

Некоторые типовые схемы питания осветительных установок приведены на рис. 3.15-3.20.

На рис. 3.15 приведены схемы питания электрического освещения от вводно-распределительного устройства (ВРУ) совместно с силовыми электроприемниками.

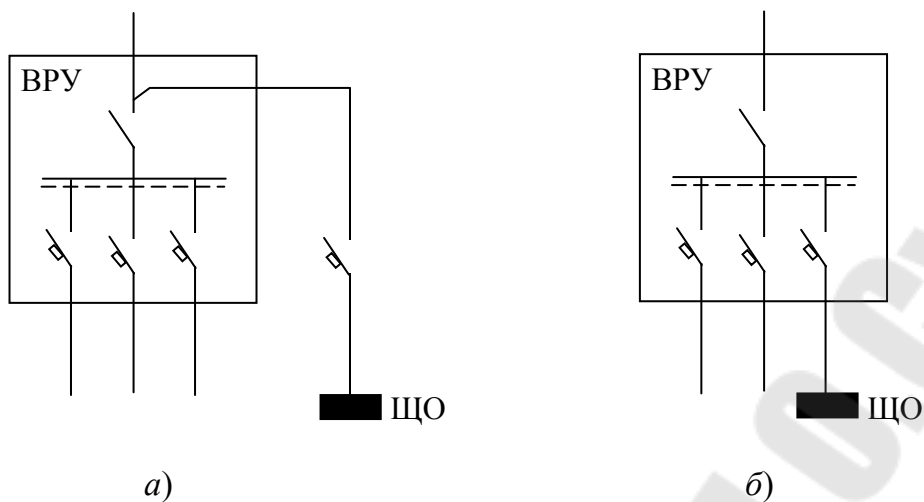


Рис. 3.15. Схемы питания электрического освещения от ВРУ

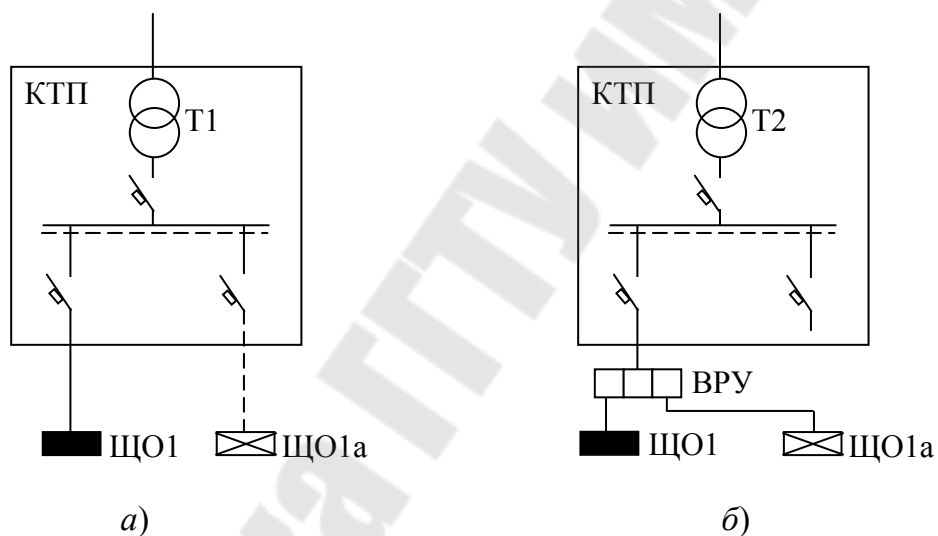


Рис. 3.16. Схема питания освещения от однострансформаторной подстанции

На рис. 3.16 приведены схемы питания рабочего и эвакуационного освещения от одной однострансформаторной подстанции. Осветительные щитки питаются по отдельным линиям от щита подстанции (рис. 3.16, а) или по общей линии с разделением ее на вводе в здание (рис. 3.16, б).

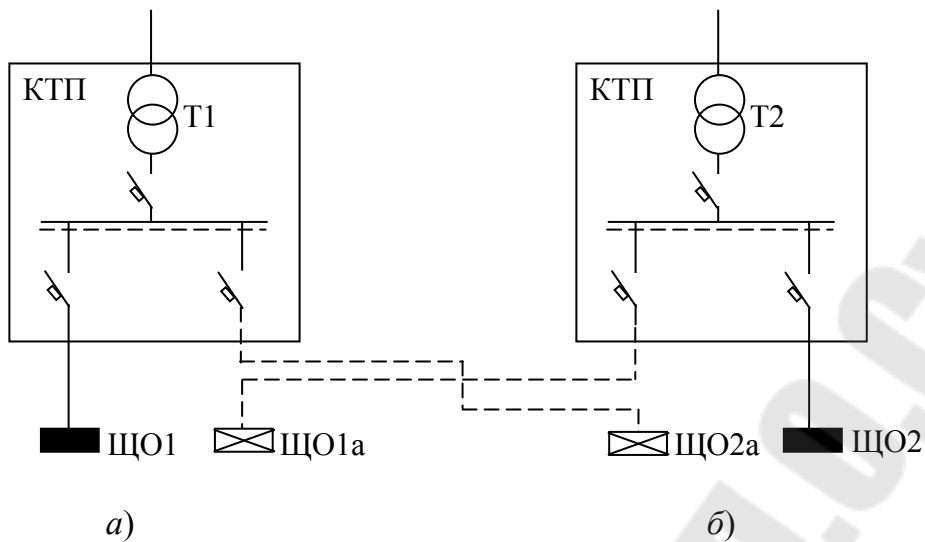


Рис. 3.17. Схема питания электрического освещения от двух однитрансформаторных подстанций

При перекрестной схеме питания (рис. 3.17) рабочее освещение помещения питается от одного трансформатора, аварийное освещение в этом же помещении питается от другого трансформатора.

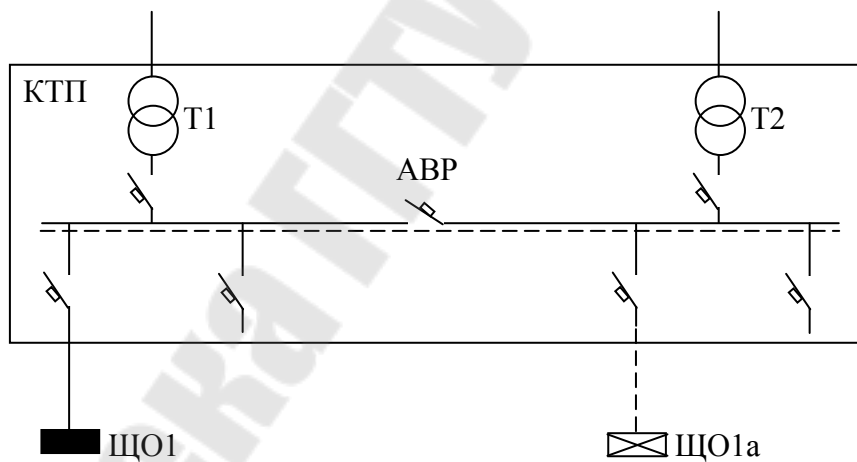


Рис. 3.18. Схема питания электрического освещения от двухтрансформаторной подстанции

При наличии в системе электроснабжения здания двухтрансформаторных подстанций щитки рабочего и аварийного освещения подключаются от разных трансформаторов (рис. 3.18).

В линейных шкафах комплектных трансформаторных подстанций как правило установлены аппараты защиты на большие значения номинальных токов, поэтому в этом случае питание осветительных установок осуществляется через магистральные щитки (рис. 3.19).

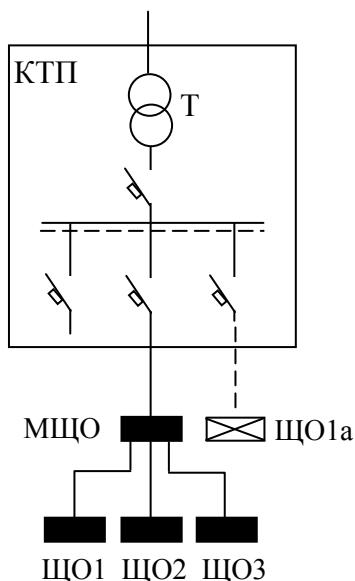


Рис. 3.19. Схема питания групповых щитков от магистрального щитка

Для электроустановок первой категории надежности, в качестве второго источника питания аварийного освещения могут применяться аккумуляторные батареи, генераторы с дизельными или бензиновыми двигателями, а также используются электрические связи с ближайшими независимыми источниками (рис. 3.20).

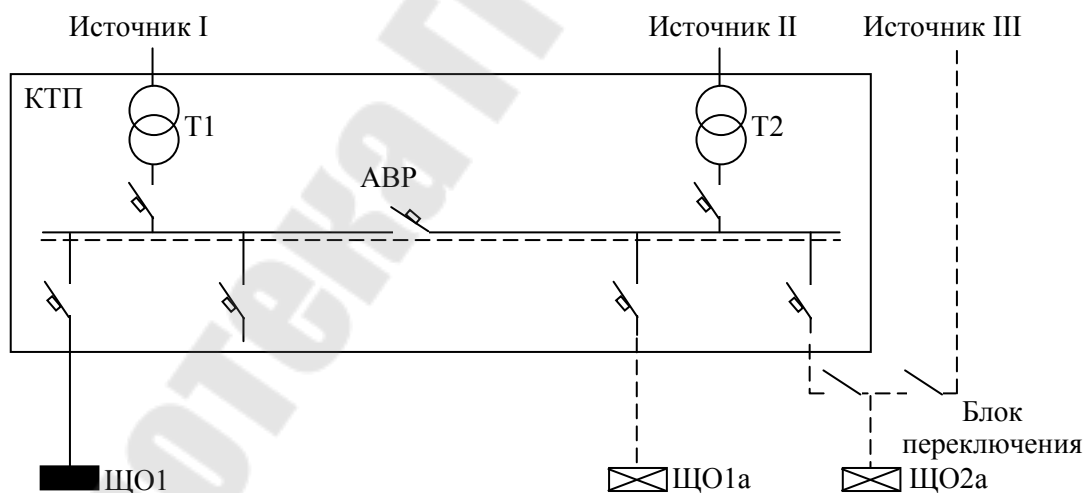


Рис. 3.20. Схема питания электрического освещения от трех источников

Схема, приведенная на рис. 3.20 используется при питании осветительных установок от трех источников.

3.3.3. Выбор типа и мест расположения щитков освещения

При выборе типа щитков освещения учитываются 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. Технические данные некоторых щитков освещения приведены в таблицах 3.10, 3.11.

Таблица 3.10

Технические данные осветительных групповых щитков серий ЯОУ, ЩО, ОП, ОЩ, ОЩВ, УОЩВ

Тип	Вводной аппарат		Автоматические выключатели в групповых линиях		Степень защиты оболочки	Климатическое исполнение	Исполнение по способу установки
	Наименование	$I_{ном}, А$	$I_{ном}, А$	Кол.			
ЯОУ-8501	-	63	16; 25	6	IP54	У2	на стене
ЯОУ-8502	-	100	16; 25	12	IP54	У2	на стене
ЯОУ-8503	-	100	16; 25	6	IP54	У2	на стене
ЯОУ-8504	-	100	16; 25	2×3 ф	IP54	У2	на стене
ЯОУ-8505	-	63	16; 25	6	IP20	У3	в нише
ЯОУ-8506	-	100	16; 25	12	IP20	У3	в нише
ЩО33-13	Зажимы	-	16; 25	6	IP20	У3	в нише
ЩО33-24	Зажимы	-	16; 25	12	IP20	У3	в нише
ЩО32-21	Авт. выкл	100	16; 25	6	IP20	У3	в нише
ЩО32-32	Авт. выкл	100	16; 25	12	IP20	У3	в нише
ОП-3	Зажимы	-	16; 25	3	IP20	У3	на стене
ОП-6	Зажимы	-	16; 25	6	IP20	У3	на стене
ОП-9	Зажимы	-	16; 25	9	IP20	У3	на стене
ОП-12	Зажимы	-	16; 25	12	IP20	У3	на стене
ОЩ-6	Зажимы	-	16; 25	6		УХЛ4	на стене
ОЩ-12	Зажимы	-	16; 25	12		УХЛ4	на стене
ОЩВ-6А	Авт. выкл	63	16; 25	6	IP20	У3	на стене
ОЩВ-12А	Авт. выкл	100	16; 25	12	IP20	У3	на стене
УОЩВ-6А	Авт. выкл	63	16; 25	6	IP20	У3	в нише
УОЩВ-12А	Авт. выкл	100	16; 25	12	IP20	У3	в нише

Примечание. Щитки имеют изолированную нулевую (N) и связанную с корпусом защитную (PE) шины, укомплектованные контактными зажимами

Щитки освещения серии ПР11

Типоисполнение шкафа		Номинальный ток, А	Тип вводного выключателя	Тип / кол. выключателей на фидерах	
Навесное исполнение	Утопленное исполнение			однополюсных	трехполюсных
ПР11-3045-21У3	ПР11-1045-21У3	100	-	АЕ2044 / 6	-
ПР11-3-45-54У1	-	100	-	АЕ2044 / 6	-
ПР11-3046-21У3	ПР11-1046-21У3	100	АЕ2066	АЕ2044 / 6	-
ПР11-3046-54У1	-	100	АЕ2066	АЕ2044 / 6	-
ПР11-3047-21У3	ПР11-1047-21У3	100	-	-	АЕ2046Б/2
ПР11-3047-54У1	-	100	-	-	АЕ2046Б/2
ПР11-3048-21У3	ПР11-1048-21У3	100	АЕ2066	-	АЕ2046Б/2
ПР11-3048-54У1	-	100	АЕ2066	-	АЕ2046Б/2
ПР11-3050-21У3	ПР11-1050-21У3	100	АЕ2066	АЕ2044 / 3	АЕ2046Б/1
ПР11-3050-54У1	-	100	АЕ2066	АЕ2044 / 3	АЕ2046Б/1
ПР11-3052-21У3	ПР11-1052-21У3	250	А3726ФУ3	АЕ2044 /12	-
ПР11-3052-54У3	-	250	А3726ФУ3	АЕ2044 /12	-
ПР11-3054-21У3	-	250	А3726ФУ3	-	АЕ2046Б/4
ПР11-3054-54У3	-	250	А3726ФУ3	-	АЕ2046Б/4
ПР11-3056-21У3	ПР11-1056-21У3	250	А3726ФУ3	АЕ2044 / 6	АЕ2046Б/2
ПР11-3056-54У3	-	250	А3726ФУ3	АЕ2044 / 6	АЕ2046Б/2
ПР11-3058-21У3	ПР11-1058-21У3	250	А3726ФУ3	АЕ2044 /18	-
ПР11-3058-54У3	-	250	А3726ФУ3	АЕ2044 /18	-
ПР11-3060-21У3	ПР11-1060-21У3	250	А3726ФУ3	-	АЕ2046Б/6
ПР11-3060-54У3	-	250	А3726ФУ3	-	АЕ2046Б/6
ПР11-3062-21У3	ПР11-1062-21У3	250	А3726ФУ3	АЕ2044 /12	АЕ2046Б/2
ПР11-3062-54У3	-	250	А3726ФУ3	АЕ2044 /12	АЕ2046Б/2
ПР11-3064-21У3	ПР11-1064-21У3	250	А3726ФУ3	АЕ2044 /6	АЕ2046Б/4
ПР11-3064-54У3	-	250	А3726ФУ3	АЕ2044 /6	АЕ2046Б/4
ПР11-3068-21У3	ПР11-1068-21У3	250	А3726ФУ3	-	АЕ2046Б/8
ПР11-3068-54У3	-	250	А3726ФУ3	-	АЕ2046Б/8
ПР11-3070-21У3	ПР11-1070-21У3	250	А3726ФУ3	АЕ2044 /18	АЕ2046Б/2
ПР11-3070-54У3	-	250	А3726ФУ3	АЕ2044 /18	АЕ2046Б/2

Щитки освещения должны располагаться: по возможности ближе к центру электрических осветительных нагрузок, питаемых от них (выполнение этого требования способствует уменьшению протяженности групповой сети, расхода проводникового материала); в местах безопасных и удобных для управления и обслуживания (у входов, выходов, в проходах на (в) стенах, на колонах и т.д.); таким образом, чтобы отсутствовали или имели место минимальные обратные потоки электроэнергии в электрической сети от источника питания до светильника (это обеспечивает минимальные потери напряжения в осветительной сети).

До недавнего времени использовались щитки освещения ПР-9000, СУ-9400 с автоматическими выключателями А3161, А3163. В настоящее время щитки типа ПР-11 с автоматами АЕ, А3700, щитки ПР-9000, ОЩ, ОЩВ и др.

3.3.4. Выбор марки проводов и кабелей и способов их прокладки

Осветительные сети выполняются проводами и кабелями с алюминиевыми и медными жилами различными способами прокладки.

Способы выполнения электрической сети 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;

- экономичность (наименьшую стоимость), удобство эксплуатации (доступность, ремонтпригодность);

- требование эстетики (не нарушать эстетику архитектуры помещений).

Электрическая сеть выполняется проводами и кабелями преимущественно с алюминиевыми жилами. Применение медных жил проводов и кабелей ограничено [11] и применяться они должны во взрывоопасных помещениях классов В-1 и В-1а и в помещениях со средой, агрессивной к алюминию, а также для зарядки светильников и подключения переносных осветительных приборов.

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;

АППВ, ППВ (АППВС, ППВС) – плоские двух- трехжильные провода для скрытой несменяемой проводки в настоящее время запрещены к применению в соответствии требований ими [14]. Допускается их 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 половинилхлоридной изоляцией жил, содержащие в своей конструкции несущий стальной трос. В соответствии с [14] для открытой прокладки запрещены;

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.

Способ прокладки проводов и кабелей сети электрического освещения определяется условиями окружающей среды помещений, наличием соответствующих строительных конструкций (плит перекрытия, ферм и т.д.).

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 осветительных сетей 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;

- 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.

3.3.5. Расчет электрических осветительных сетей

Расчет электрической сети освещения заключается в определении сечения проводов и кабелей на всех участках осветительной сети и расчета защиты ее. Рассчитанное сечение жил проводов и кабелей должно удовлетворять условиям механической прочности, допустимому нагреву, обуславливать потерю напряжения, не превышающую допустимых значений.

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.

Для питания трехфазных симметричных нагрузок (например, питание многолампового светильника), нулевой рабочий N-проводник должен иметь сечение, равное сечению фазных проводников, если те имеют сечение до 16 мм² по меди или 25 мм² 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 мм^2 ;
- 16 мм^2 при сечении фазных проводников от 16 до 35 мм^2 ;
- не менее 50 % сечения фазных проводников при больших сечениях проводников.

В системах TN для стационарных электроустановок сечение совмещенного PEN-проводника можно принимать равным 10 мм^2 и выше по меди и 16 мм^2 и выше по алюминию, но не менее требуемого сечения N-проводника и при условии, что рассматриваемая часть сети не защищена устройством защитного отключения, реагирующим на дифференциальный ток.

3.3.5.1. Определение расчетных нагрузок осветительных установок

В результате выполнения светотехнических расчетов и выбора ламп определяется установленная мощность осветительной нагрузки.

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

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

$$P_{\text{рлн}} = \sum P_{\text{лн}} \cdot K_c. \quad (3.21)$$

В осветительных установках с разрядными лампами при определении расчетной мощности необходимо учитывать потери мощности в пускорегулирующей аппаратуре (ПРА):

- для люминесцентных ламп низкого давления

$$P_{рлл} = (1,08...1,3) \cdot \sum P_{лл} \cdot K_c ; \quad (3.22)$$

– нижнее значение 1,08 принимается для ламп с электронными ПРА; 1,2 – при стартерных схемах включения; 1,3 – в схемах быстрого зажигания с накальным трансформатором;
– для дуговых ртутных ламп ДРЛ, ДРИ

$$P_{ррлвд} = 1,1 \cdot \sum P_{рлвд} \cdot K_c . \quad (3.23)$$

Значение коэффициента спроса для сети рабочего освещения производственных зданий принимается:

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 1,0.

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.

3.3.5.2. 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 минимальные сечения жил проводов по механической прочности. Наименьшие сечения проводов по механической прочности приведены в таблице 3.12

Таблица 3.12

Минимальные сечения проводников по механической прочности

Типы электропроводки		Назначение цепи	Проводник	
			Материал	Сечение, мм ²
Стационарные электроустановки	Кабели и изолированные проводники	Силовые и осветительные цепи	Медь Алюминий	1,5 2,5 (примечание 1)
		Цепи сигнализации и управления	медь	0,5 (примечание 2)
	Неизолированные проводники	Силовые цепи	Медь Алюминий	10 16
		Цепи сигнализации и управления	Медь	4
Гибкие соединения с изолированными проводниками и кабелями		Внутренний монтаж в приборах и устройствах	Медь	По нормам и требованиям соответствующих стандартов
		В остальных случаях		0,75 (примечание 3)
		В цепях сверхнизкого напряжения для специального применения		0,75

Примечания:

1. Оконцеватели, применяемые для оконцевания алюминиевых проводников, должны быть испытаны и предназначены для этой цели.
2. Для цепей сигнализации и управления, предназначенных для электронного оборудования, минимально допустимый размер сечения проводников 0,1 мм².
3. Примечание 2 относится также и к многожильным гибким кабелям, имеющим семь и более жил.

3.3.5.3. Выбор сечений проводов по допустимому нагреву

Электрический ток нагрузки, протекая по проводнику, нагревает его. Нормами [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 проводников их изоляции, оболочки и условий прокладки.

Сечение жил проводов и кабелей для сети освещения можно определить по таблицам П18-П22 приложения в зависимости от расчетного длительного значения токовой нагрузки по условию

$$I_{\text{доп}} \geq I_p / K_p, \quad (3.24)$$

где $I_{\text{доп}}$ – допустимый ток стандартного сечения провода, А;

I_p – расчетное значение длительного тока нагрузки, А;

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

Для проводов и кабелей, проложенных в коробах, а также в лотках пучками для их длительно допустимых токов вводятся снижающие коэффициенты 0,6 – 0,85 в зависимости от количества проложенных рядом проводов или кабелей [11, п. 1.3.10, табл. 1.3.12].

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

Расчетные максимальные токовые нагрузки определяют по формулам:

для однофазной сети

$$I_p = P_p / U_{\phi} \cdot \cos \varphi; \quad (3.25)$$

для трехфазной сети

$$I_p = \frac{P_p}{3U_{\phi} \cdot \cos \varphi} = \frac{P_p}{\sqrt{3}U_{\text{л}} \cdot \cos \varphi}; \quad (3.26)$$

для двухфазной сети

$$I_p = \frac{P_p}{2U_{\phi} \cdot \cos \varphi}. \quad (3.27)$$

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

1,0 – для ламп накаливания;

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

0,92 – для многоламповых 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.

3.3.5.4. Расчет электрических сетей по допустимой потере напряжения

Располагаемая (допустимая) потеря напряжения в осветительной сети, т.е. потеря напряжения в линии от источника питания (шин

0,4 кВ КТП) до самой удаленной лампы в ряду, определяется по формуле

$$\Delta U_p = 105 - U_{\min} - \Delta U_T, \quad (3.28)$$

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

U_{\min} – наименьшее напряжение, допускаемое на зажимах источника света, % (принимается равным 95 % [23]);

ΔU_T – потери напряжения в силовом трансформаторе, приведенные к вторичному номинальному напряжению и зависящие от мощности трансформатора, его загрузки β и коэффициента мощности нагрузки, %.

Потери напряжения в трансформаторе можно определить по табл. 3.13 или по выражению

$$\Delta U_T = \beta(U_a \cos \varphi + U_p \sin \varphi), \quad (3.29)$$

где β – коэффициент загрузки трансформатора;

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

$$U_a = P_k / S_{\text{ном}} \cdot 100; \quad (3.30)$$

$$U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2}, \quad (3.31)$$

где P_k – потери короткого замыкания, кВт;

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

U_k – напряжение короткого замыкания, %.

Значения P_k и U_k можно определить по таблице 3.14.

Таблица 3.13

Потери напряжения в трансформаторах

Мощность трансформатора, кВ·А	Потери напряжения в трансформаторах ΔU_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 ΔU_T его значение, найденное по таблице, следует умножить на фактическое значение коэффициента загрузки β .

Таблица 3.14

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

$$\Delta U = M/CS. \quad (3.32)$$

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

$$S = M/C \cdot \Delta U, \quad (3.33)$$

где M – момент нагрузки, кВт·м;

C – коэффициент, зависящий от материала провода и напряжения сети (определяется по таблице 3.15).

Таблица 3.15

Значение коэффициента C

Номинальное напряжение сети, В	Система сети, род тока	Коэффициент C проводов	
		медных	алюминиевых
380/220	Трехфазная 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. 3.21, а) момент определяется как произведение расчетной нагрузки ламп на длину участка сети

$$M = P_p \cdot L; \quad (3.34)$$

– в проектной практике осветительная сеть имеет более сложную конфигурацию (рис. 3.21, б), тогда момент нагрузки можно определить по выражению

$$\begin{aligned} M &= P_1 \cdot L + P_2 \cdot (L + L_2) + P_3 \cdot (L + L_2 + L_3) = \\ &= L(P_1 + P_2 + P_3) + L_1(P_2 + P_3) + L_2 \cdot P_3; \end{aligned} \quad (3.35)$$

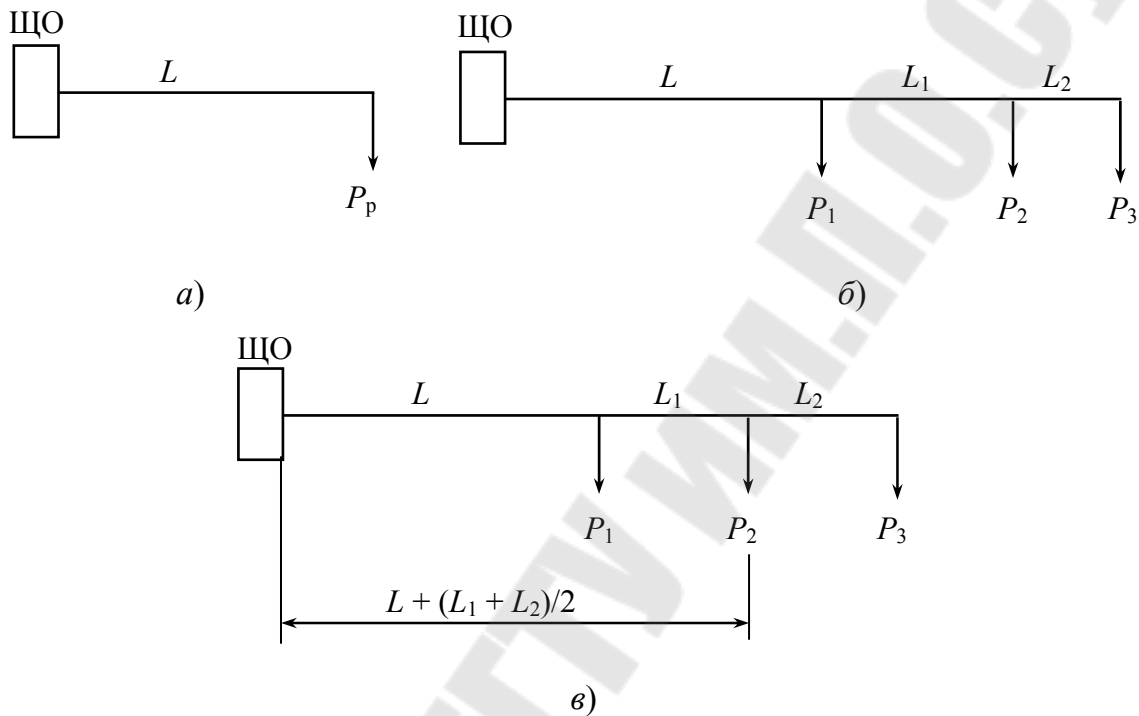


Рис. 3.21. Конфигурация сети освещения:
 а – простая сеть; б – сложная сеть с неравномерно
 распределенной нагрузкой; в – сложная сеть с равномерно
 распределенной нагрузкой

– для сети с равномерно распределенной нагрузкой (рис. 3.21, в) момент нагрузки определяется, как произведение мощности ламп на половину длины групповой линии

$$M = \sum P_p \cdot [L + (L_1 + L_2)/2], \quad (3.36)$$

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

$$M_{\text{пр}} = \sum M + \alpha \sum m, \quad (3.37)$$

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 рассчитываемом участке;

α – коэффициент приведения моментов (определяется по таблице 3.16).

Таблица 3.16.

Значение коэффициентов приведения моментов

Линия	Ответвление	Коэффициент приведения моментов α
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 выполняется по формуле

$$S = (\sum M + \alpha \sum m) / C \cdot \Delta U_p, \quad (3.38)$$

где ΔU_p – расчетные потери напряжения, %, допустимые от начала данного рассчитываемого участка до конца сети.

По формуле 3.38 определяется сечение на первом (головном) участке сети освещения, начиная от источника питания и округляется до ближайшего большего стандартного значения, удовлетворяющего допустимому нагреву. По выбранному сечению данного участка определяется фактическая потеря напряжения в нем. Последующий участок сети рассчитывается по допустимой потере напряжения от места его присоединения, т.е. от расчетной допустимой потери напряжения должно быть вычтено значение фактической потери напряжения на предыдущем питающем участке.

3.3.5.5. Защита осветительных сетей и выбор аппаратов защиты

Осветительные сети должны иметь защиту от токов короткого замыкания (КЗ), а в ряде случаев также от перегрузки [11].

Защите от перегрузки подлежат сети:

– внутри помещений, выполненные открыто проложенными проводниками с горючей наружной оболочкой или изоляцией;

– осветительные в жилых и общественных зданиях, в торговых помещениях, служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, включая сети для бытовых и переносных электроприемников, а также в пожароопасных зонах;

– всех видов во взрывоопасных наружных установках независимо от условий технологического процесса или режима работы сети.

Аппараты, установленные для защиты от токов коротких замыканий и перегрузки, должны быть выбраны так, чтобы номинальный ток каждого из них I_3 (ток плавкой вставки или расцепителя автоматического выключателя) был не менее расчетного тока I_p , рассматриваемого участка сети:

$$I_3 \geq I_p, \quad (3.39)$$

где I_p – расчетный ток рассматриваемого участка сети, А.

При выборе аппаратов защиты должны учитываться пусковые токи мощных ламп накаливания и газоразрядных ламп высокого давления путем умножения расчетного тока на коэффициент запаса. Коэффициент запаса равный 1,4 принимается для ламп ДРЛ при применении автоматических выключателей с тепловыми или комбинированными расцепителями с уставками менее 50 А, а также для ламп накаливания при применении автоматических выключателей с комбинированными расцепителями на любые значения токов.

Коэффициент запаса равный 1 принимается для всех остальных случаев, а также для люминисцентных ламп.

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, имеющие обратно зависимую от тока характеристику, у которых с возрастанием тока время отключения уменьшается.

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 после-

дующего по направлению к источнику питания следует принимать выше не менее чем на две ступени, чем предыдущего, если это не приводит к завышению сечения 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 $I_{\text{доп}}$ и номинальными токами аппаратов защиты I_3 (таблица 3.17)

$$I_{\text{доп}} \geq K_3 \cdot I_3 / K_{\text{п}} \quad (3.40)$$

где K_3 – коэффициент защиты, определяется по таблице 3.17.

Соотношение между допустимыми токами проводов $I_{\text{доп}}$ и номинальными токами аппаратов защиты I_3 и значение коэффициента защиты K_3

Помещения, здания	Тип провода при любом способе прокладки	Длительно допустимый ток провода $I_{\text{п}}$ при аппарате защиты		
		Предохранители	Автоматы с обратно зависимой от тока характеристикой	
			Нерегулируемый расцепитель	Регулируемый расцепитель
Сети, не защищаемые от перегрузки				
Всех назначений	Всех типов	$I_{\text{п}} \geq 0,33 \cdot I_3$ $K_3 = 0,33$	$I_{\text{п}} \geq I_3$ $K_3 = 1$	$I_{\text{п}} \geq 0,8 \cdot I_3$ $K_3 = 1$
Сети, защищаемые от перегрузки				
Производственные	Открыто проложенные, с горючей наружной оболочкой или изоляцией	$I_{\text{п}} \geq I_3$ $K_3 = 1$	$I_{\text{п}} \geq I_3$ $K_3 = 1$	$I_{\text{п}} \geq I_3$ $K_3 = 1$
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	$I_{\text{п}} \geq 1,25 \cdot I_3$ $K_3 = 1,25$	$I_{\text{п}} \geq I_3$ $K_3 = 1$	$I_{\text{п}} \geq I_3$ $K_3 = 1$
Пожароопасные	Всех типов	$I_{\text{п}} \geq I_3$ $K_3 = 1$	$I_{\text{п}} \geq I_3$ $K_3 = 1$	$I_{\text{п}} \geq I_3$ $K_3 = 1$
Взрывоопасные	Всех типов	$I_{\text{п}} \geq 1,25 \cdot I_3$ $K_3 = 1,25$	$I_{\text{п}} \geq I_3$ $K_3 = 1$	$I_{\text{п}} \geq I_3$ $K_3 = 1$

Устанавливаются аппараты защиты – плавкие предохранители и автоматические выключатели:

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 следует располагать по возможности группами (щитки освещения) в доступных для обслуживания местах. Рассредоточенная установка аппаратов защиты допускается при питании освещения от распределительных магистралей. Защитный аппарат включается в каждую фазу, кроме нулевого провода, а во взрывоопасных помещениях и в нулевой провод.

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 50 В любой мощности и лампы накаливания напряжение выше 50 В мощностью 500 Вт и более могут защищаться аппаратами защиты на ток до 63 А.

3.3.5.6. Выбор сечения проводов и кабелей и расчет защиты осветительной сети

Расчет электрической сети освещения выполняется одновременно с выбором марки проводов и кабелей и способ их прокладки.

Выбор сечений проводов и кабелей в соответствии с [1] должен выполняться по допустимому нагреву длительным током, по допустимой потере напряжения, по механической прочности. Выбранное сечение проводника должно быть согласовано с защищаемым аппаратом.

Необходимость применения заземления электрической сети типа *TN-S* или *TN-C-S* определяет в свою очередь правильный выбор

нулевых рабочих (N), защитных (PE) и совмещенных нулевых рабочих и защитных (PEN) проводников.

Расчет электрической сети освещения рассмотрим на примере расчета универсального фрагмента схемы сети (расчетная схема), приведенного на рис. 3.22.

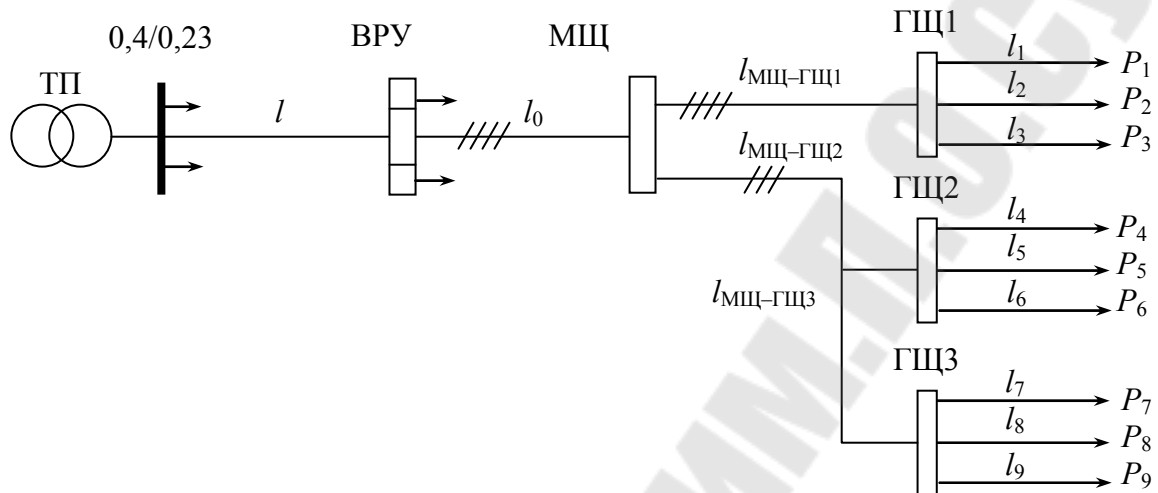


Рис. 3.22. Расчетная схема электрической сети

Порядок расчета электрической сети следующий:

1. Составляется расчетная схема сети (рис. 3.22), на которой указывается следующая информация: длина каждого участка, количество проводов на участках в виде засечек (для наглядности, только при расчетах защитный проводник в схеме можно не указывать), нагрузка конца последних участков сети.

Длина участка сети определяется с учетом способа прокладки проводников, их монтажа.

2. Рассчитывается нагрузка каждого участка электрической сети. В общем случае расчетная нагрузка освещения определяется по формуле:

$$P_{p.0} = K_{c0} \left[\sum_1^n P_{лн} + (1,08 \dots 1,3) \sum_1^m P_{лл} + 1,1 \sum_1^k P_{лвд} \right], \quad (3.41)$$

где K_{c0} – коэффициент спроса освещения, характеризующий использование источников света по времени ($0,6 \dots 1$);

$P_{лн}$, $P_{лл}$, $P_{лвд}$ – номинальная мощность источников света, соответственно ламп накаливания, люминесцентных ламп, разрядных ламп высокого давления, кВт;

n, m, k – количество источников света, соответственно ламп накаливания, люминесцентных ламп, разрядных ламп высокого давления;

1,08...1,3; 1,1 – коэффициенты, учитывающие потери в ПРА осветительных установок.

Расчетные токи осветительной сети определяются по формулам: для однофазных участков:

$$I_p = \frac{P_{p.0} \cdot 10^3}{U_\phi \cos \varphi}, \quad (3.42)$$

для двухфазных участков:

$$I_p = \frac{P_{p.0} \cdot 10^3}{2U_\phi \cos \varphi}, \quad (3.43)$$

для трехфазных участков:

$$I_p = \frac{P_{p.0} \cdot 10^3}{3U_\phi \cos \varphi} = \frac{P_{p.0} \cdot 10^3}{\sqrt{3}U_\phi \cos \varphi}, \quad (3.44)$$

где $\cos \varphi$ – коэффициент мощности осветительной нагрузки, значение которого принимается в соответствии с рекомендациями, приведенными в [4, п. 3.4.2] или рассчитывается как средневзвешенное значение по формуле:

$$\cos \varphi_{\text{ср.вз}} = \frac{P_{p.лн} \cdot \cos \varphi_1 + P_{p.лл} \cdot \cos \varphi_2 + P_{p.рвд} \cdot \cos \varphi_3}{P_{p.лн} + P_{p.лл} + P_{p.рвд}}. \quad (3.45)$$

Так как расчет по допустимой потере напряжения ведется от ТП, то при случае, когда осветительная сеть питается от ВРУ, необходимо знать нагрузку ВРУ:

$$S_{p.ВРУ} = \sqrt{(P_{pc} + P_{p.0})^2 + Q_{pc}^2}; \quad (3.46)$$

$$I_{p.ВРУ} = \frac{S_{p.ВРУ}}{\sqrt{3}U_H},$$

где P_{pc} , Q_{pc} – силовая нагрузка ВРУ соответственно активная и реактивная, кВт, квар.

В данном задании для курсовой работы по электрическому освещению в соответствии с исходными данными

$$S_{p.VPY} = 0,15\beta_T S_{HT}. \quad (3.47)$$

3. Определяется номинальный ток защитного аппарата (номинальный ток расцепителя автоматического выключателя или номинальный ток плавкой вставки предохранителя), установленного в начале каждого радиального участка сети или магистрали:

$$I_3 = K_3 I_p, \quad (3.48)$$

где K_3 – коэффициент запаса, учитывающий пусковые токи ламп, принимается в соответствии с рекомендациями [4, п. 3.5].

По расчетному значению I_3 выбирается ближайшее большее значение номинального тока расцепителя автомата или плавкой вставки предохранителя. Следует помнить, что тип автоматического выключателя определен ранее, при выборе щитков освещения. Номинальные токи расцепителей наиболее распространенных автоматических выключателей приведены в [4, табл. П23, П24, П25].

Расчет номинальных токов защитных аппаратов должен выполняться с конца электрической сети, т. е. автоматических выключателей щитков групповых линий, с последующим расчетом автоматов предыдущих участков по направлению распределения электрической энергии, с учетом селективности их срабатывания. Минимальный ток защитного аппарата групповой линии принимается 16 А, что согласуется с минимальным сечением по механической прочности ($2,5 \text{ мм}^2$) алюминиевых проводников для большинства способов прокладки.

С точки зрения селективности номинальный ток предыдущего защитного аппарата должен быть не менее или на ступень выше номинального тока последующего аппарата (за исключением смежно расположенных предохранителей).

Что касается защитных аппаратов ВРУ, то на данном этапе, при отсутствии данных о количестве присоединений к нему силовой нагрузки, можно выбрать по $I_{p.VPY}$, например, вводную панель Щ20-Ин1 с автоматом или предохранителями и произвольно одну линейную панель этого же типа тоже с предохранителями или автоматами по каталогу «Инносат» или по [24, табл. П6], в которой приведены аналоги панелей Щ20-Ин1→Щ0–94.

В распределительном устройстве 0,4/0,23 кВ ТП по $I_{p.VPY}$ с учетом селективности срабатывания выбрать защитный аппарат, например, ВА51(52) [4, табл. П25].

4. При наличии в качестве источника питания осветительной установки ВРУ определяется сечение и выбирается марка кабеля, питающего его.

Расчет выполняется по допустимому нагреву по формулам:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{\text{р.ВРУ}}}{K_{\text{п}}}; \quad (3.49)$$

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{K_{\text{с}} I_{\text{з}}}{K_{\text{п}}}, \quad (3.50)$$

где $I_{\text{доп}}$ – допустимый ток выбираемого кабеля, А, [4], [8], [11] или др.;

$K_{\text{п}}$ – коэффициент, учитывающий условия прокладки, [11], [4, п. 3.4.2];

$K_{\text{с}}$ – кратность длительно допустимого тока проводника к току защитного аппарата ($I_{\text{з}}$) принимается по [11] или др.

В данной курсовой работе значение коэффициента $K_{\text{п}}$ можно принять равным 1.

Для питания ВРУ можно выбрать кабель марки ААШВ, АВВГ и др.

5. Определяется допустимая потеря напряжения ($\Delta U_{\text{доп}}$) от ТП до самого удаленного источника света осветительной сети $\Delta U_{\text{доп}} = f(S_{\text{нт}}, \beta_{\text{т}}, \cos \varphi_{\text{т}})$ и может быть определена по [24, табл. 2.10] или расчетным путем [4, п. 3.4.3].

В курсовой работе допустимую потерю напряжения определить расчетным путем.

6. Рассчитывается фактическая потеря напряжения на участке от ТП до ВРУ ($\Delta U_{\text{ТП-ВРУ}}$, %) (при наличии в качестве источника питания ВРУ):

$$\Delta U_{\text{ТП-ВРУ}} = \sqrt{3} I_{\text{р.ВРУ}} \cdot l (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) \frac{100}{U_{\text{н}}}, \quad (3.51)$$

где l – расстояние от ТП до ВРУ, км;

r_0 , x_0 – погонные сопротивления, соответственно активное и реактивное кабеля, питающего ВРУ, Ом/км [24, табл. П14, П16] или др.;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности нагрузки ВРУ, в курсовой работе задается в виде исходных данных $\cos \varphi_{\text{т}}$;

$U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение сети, 380 В.

7. Определяется допустимая потеря напряжения только для осветительной сети ($\Delta U'_{\text{доп}}$).

При наличии в цеху в качестве источника питания ТП:

$$\Delta U'_{\text{доп}} \% = \Delta U_{\text{доп}} \% . \quad (3.52)$$

При наличии в цеху в качестве источника питания ВРУ:

$$\Delta U'_{\text{доп}} \% = \Delta U_{\text{доп}} \% - \Delta U_{\text{ТП-ВРУ}} \% . \quad (3.53)$$

8. Определяются моменты нагрузки каждого участка осветительной сети по формуле:

$$M = l \cdot P_p . \quad (3.54)$$

Моменты для каждого участка: $M_0, M_{\text{мщ-гщ1}}, M_{\text{мщ-гщ2}}, M_{\text{гщ2-гщ3}}, M_1, \dots, M_9$ рассчитываются в соответствии с рекомендациями [4, п. 3.4.3].

9. По допустимой потере напряжения выбирается сечение проводника на участке l_0 (рис. 3.22).

Выполняется расчет сечения по формуле:

$$S_0 = \frac{M_{\text{пр.0}}}{c \cdot \Delta U_{\text{доп}}} , \quad (3.55)$$

где S_0 – рассчитываемое сечение на участке l_0 , мм²;

c – коэффициент, зависящий от материала проводника и напряжения сети, принимается по [4, табл. 3.4];

$\Delta U_{\text{доп}}$ – допустимая потеря напряжения для всей осветительной сети, %, определяется по формуле (3.52) или (3.53);

$M_{\text{пр.0}}$ – приведенный момент нагрузки к участку l_0 , кВт·м, определяется по формуле:

$$M_{\text{пр.0}} = M_0 + M_{\text{мщ-гщ1}} + M_{\text{мщ-гщ2}} \cdot \alpha_{3 \rightarrow 4} + (M_{\text{гщ2-гщ3}} + M_1 + \dots + M_9) \alpha_{2 \rightarrow 4} , \quad (3.56)$$

где $\alpha_{3 \rightarrow 4}$ – коэффициент приведения моментов двухфазного участка (ответвления) к трехфазному участку (линии);

$\alpha_{2 \rightarrow 4}$ – коэффициент приведения моментов однофазного участка к трехфазному участку.

Коэффициенты приведения принимаются по [4, табл. 3.5].

По S_0 – выбирается ближайшее большее стандартное сечение $S_0^{\text{ст}}$.

10. Выбранное сечение проверяется по нагреву расчетным током по формуле:

$$I_{\text{доп.0}} \geq \frac{I_{\text{р.0}}}{K_{\text{п}}} \quad (3.57)$$

и проверяется на согласование с защитным аппаратом, установленным вначале участка $l_{\text{доп.0}}$:

$$I_{\text{доп.0}} \geq \frac{K_3 I_{3.0}}{K_{\text{п}}} \quad (3.58)$$

Если условия (3.57) и (3.58) выполняются, то принятое ранее стандартное сечение $S_0^{\text{ст}}$ является окончательным. Если отмеченные условия не выполняются, то принимается следующее ближайшее большее стандартное сечение. И снова выполняется проверка условия (3.57) и (3.58) тока не будет принято окончательное сечение.

Следует отметить, что наличие аппаратов защиты с завышенными значениями I_3 не является обоснованием для увеличения сечения проводников, выбранных по длительному расчетному току [11].

11. Определяется фактическая потеря напряжения на участке l_0 по формуле:

$$\Delta U_{\text{ф.0}} = \frac{M_0}{c \cdot S_0^{\text{ст}}} \cdot k_{\text{к}}, \quad (3.59)$$

где $k_{\text{к}}$ – коэффициент, учитывающий реактивную составляющую потери напряжения, принимается по [2].

12. Вычисляется допустимая потеря напряжения от магистрального щитка

$$\Delta U_{\text{доп}}^{\text{МЩ}} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_{\text{ф.0}} \quad (3.60)$$

13. По $\Delta U_{\text{доп}}^{\text{МЩ}}$ рассчитывается сечения проводников на последующих участках $l_{\text{МЩ-ГЩ1}}$ и $l_{\text{МЩ-ГЩ2}}$, аналогично, как и на предыдущем участке l_0 .

Далее определяется фактическая потеря напряжения на этих участках $\Delta U_{\text{МЩ-ГЩ1}}$ и $\Delta U_{\text{МЩ-ГЩ2}}$.

Вычисляется допустимая потеря напряжения от ГЩ1

$$\Delta U_{\text{доп}}^{\text{ГЩ1}} = \Delta U_{\text{доп}}^{\text{МЩ}} - \Delta U_{\text{МЩ-ГЩ1}}, \quad (3.61)$$

по которому рассчитывается сечение на участках l_1 , l_2 и l_3 и проверяется по нагреву по (3.57) и (3.58).

Вычисляется допустимая потеря напряжения от ГЩ2:

$$\Delta U_{\text{доп}}^{\text{ГЩ2}} = \Delta U_{\text{доп}}^{\text{МЩ}} - \Delta U_{\text{МЩ-ГЩ2}}, \quad (3.62)$$

по которому рассчитывается сечение на участках $l_{\text{ГЩ2-ГЩ3}}$, l_4 , l_5 , l_6 и проверяется по нагреву по (3.57) и (3.58).

Сечения на участках l_7 , l_8 , l_9 рассчитываются по допустимой потере напряжения от ГЩ3:

$$\Delta U_{\text{доп}}^{\text{ГЩ3}} = \Delta U_{\text{доп}}^{\text{ГЩ2}} - \Delta U_{\text{ГЩ2-ГЩ3}}, \quad (3.63)$$

и тоже проверяются по нагреву по (3.57) и (3.58).

По результатам расчета оформляется таблица со следующей информацией: участок сети (начало–конец); количество проводов на участке (защитный проводник указывается отдельно); установленная мощность, кВт; коэффициент спроса, расчетная нагрузка (P_p , I_p), защитный аппарат (автоматический выключатель), тип, номинальный ток автомата ($I_{\text{на}}$), номинальный ток расцепителя ($I_{\text{нр}}$); собственный момент участка, кВт·м; приведенный момент участка, кВт·м; сечение, выбранное по потере напряжения, мм²; сечение, проверенное по допустимой нагрузке, мм²; фактическая потеря напряжения, %; окончательно выбранная марка провода или кабеля и их сечения.

3.4. Оформление рабочих чертежей проектов осветительных установок

Рабочие чертежи проектов внутреннего электрического освещения представляют собой планы помещений с расположением на них электрических осветительных сетей (источников питания – трансформаторных подстанций, вводных или вводно-распределительных устройств, щитков освещения, проводов, кабелей, шинопроводов, осветительных приборов, штепсельных розеток, понижающих трансформаторов и др. их составляющих элементов), а также принципиальные схемы питающих, групповых сетей и схемы управления освещением, оформленные в соответствии с условными графическими обозначениями и необходимыми надписями. Выполняются они в соответствии с требованиями ГОСТ 21.608-84. На рис. 3.23 приведены условные графические обозначения элементов электрических сетей. Пример оформления плана производственного помещения с расположением осветительной сети приведен на рис. 3.24. Примеры оформления схем осветительной сети – на рис. 3.25-3.26.

Рабочие чертежи электрического освещения территории промышленных предприятий должны выполняться в соответствии с требованиями ГОСТ 21.607-82. На рис. 3.27 приведен пример оформления рабочего чертежа освещения территории промышленного предприятия.

4. УПРАВЛЕНИЕ ОСВЕЩЕНИЕМ. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫМИ УСТАНОВКАМИ

4.1. Управление освещением

Управление освещением может быть **местным и дистанционным**. При местном управлении коммутационные аппараты располагаются в самом освещаемом помещении.

Если одним аппаратом управляется один светильник, то такое управление называется **индивидуальным**, а если аппаратом управляется группа светильников – **групповым управлением**. Индивидуальное и групповое управление освещением может быть как местным, так и дистанционным.

Коммутационные аппараты могут управляться вручную, а также с помощью автоматических устройств. В зависимости от этого применяются обычные, пакетные и автоматические выключатели, реле (часовые, фото и др.), магнитные пускатели, контакторы.

Обычные выключатели применяются в небольших помещениях, при токах нагрузки не более 10 А. В остальных случаях используются пакетные или в большинстве автоматические выключатели, смонтированные в щитках освещения.

Устанавливаются обычные выключатели у входа в помещение со стороны дверной ручки как правило на высоте 1,5...1,8м от пола. Во взрывоопасных помещениях коммутационные аппараты устанавливаются вне этих помещений.

При числе светильников (источников света) в помещении два и более рекомендуется не менее двух выключателей, каждый из которых управляет соответствующей группой светильников (источников света). Этим обеспечивается гибкость управления осветительной установкой и повышается эффективность использования электроэнергии.

Рассмотрим некоторые **схемы местного управления** освещением:

На рис. 4.1 представлена полная (рис. 4.1, *а*) и однолинейная (рис. 4.1, *б*) схемы управления соответствующими светильниками двумя однополюсными выключателями. Светильники в большинстве располагают рядами, параллельными окнам. При этом предусматривается раздельное управление светильниками, находящимися у окон,

и светильниками, удаленными от них. В этом случае в каждый ряд устанавливается свой выключатель. Раздельное управление рядами светильников дает возможность отключать те ряды (обычно вдоль оконных проемов), где за счет естественного освещения создается требуемая освещенность. Такое техническое решение позволяет более рационально использовать электроэнергию на освещение.

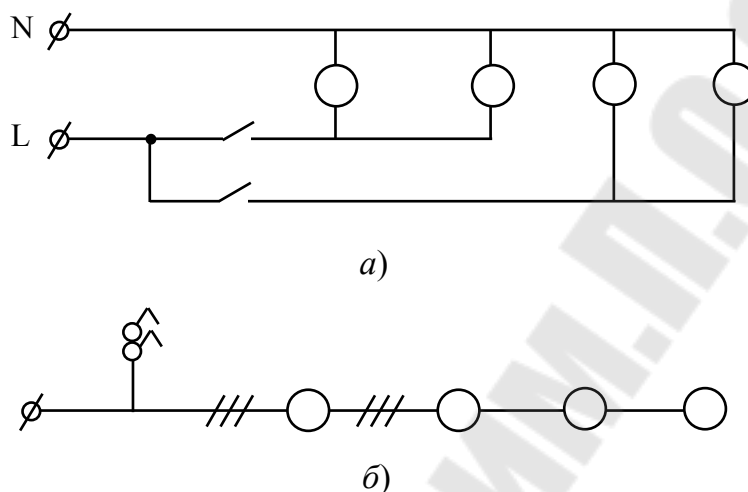


Рис.4.1. Управление светильниками двумя однополюсными выключателями; *a* – полная, *б* – однолинейная схемы

Иногда приходится питание сети освещения производить со стороны, противоположной месту установки выключателя. В этом случае применяют схему с трехпроводной линией (рис. 4.2).

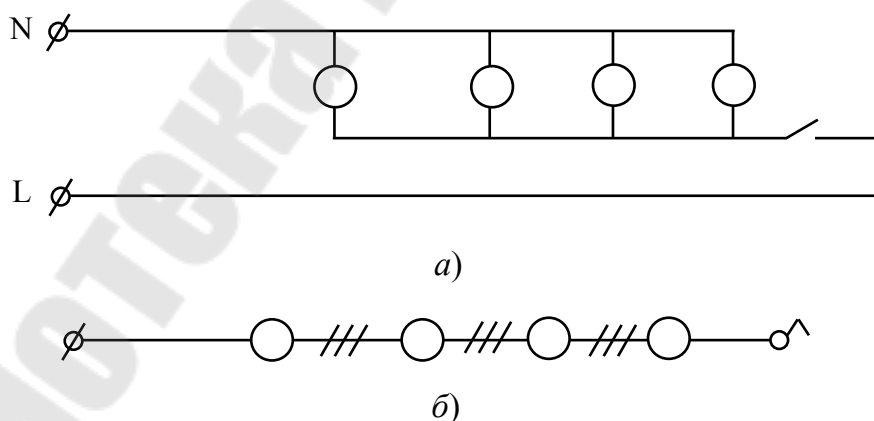
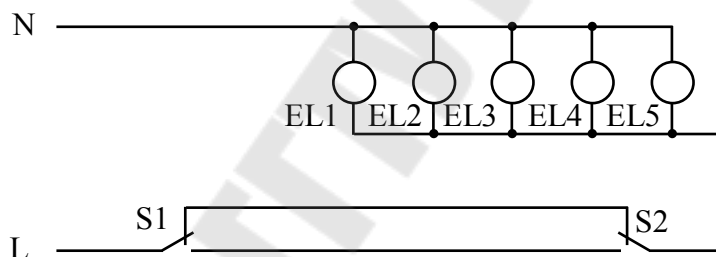


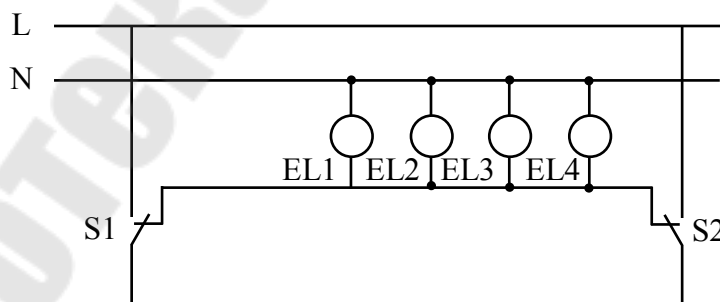
Рис. 4.2. Схема питания сети освещения с противоположной стороны месту установки выключателя; *a* – полная, *б* – однолинейная схемы

В помещениях, проходах при недостатке естественного освещения электрическое освещение включено постоянно. При эпизодических посещениях таких помещений, проходов, площадок освещение должно включаться при входе и отключаться при выходе из них людей.

При наличии нескольких входов управление освещением должно осуществляться независимо от каждого входа по так называемым схемам управления с двух и более мест (коридорные схемы). Такие схемы позволяют осуществлять управление от каждого входа независимо от положения коммутационных аппаратов у других входов (рис. 4.3). Схема с транзитной фазой (рис. 4.3, б) не разрывает фазного провода L, что дает возможность по этой фазе питать дополнительную нагрузку. На рис. 4.3, в приведена схема управления освещением из трех мест. При наличии более двух входов, у крайних входов применяются однополюсные двухпозиционные переключатели (без нейтрального положения), а у каждого из промежуточных входов – двухполюсные переключатели на два положения.



а)



б)

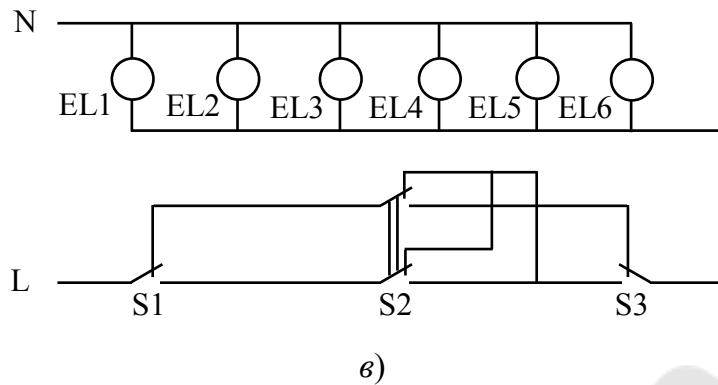


Рис. 4.3. Схемы управления освещением из нескольких мест; *а* – из двух мест, *б* – из двух мест с транзитной фазой, *в* – из трех мест; S1, S2 – однополюсные двухпозиционные переключатели; S3 – двухполюсный двухпозиционный переключатель; EL1-EL6 – электрические лампы

В протяженных осветительных сетях со значительными электрическими нагрузками применяется схема, в которой управление светильниками осуществляется с помощью магнитного пускателя или контактора (рис. 4.4). Катушка пускателя КМ управляется по коридорной схеме переключателями SA1 и SA2.

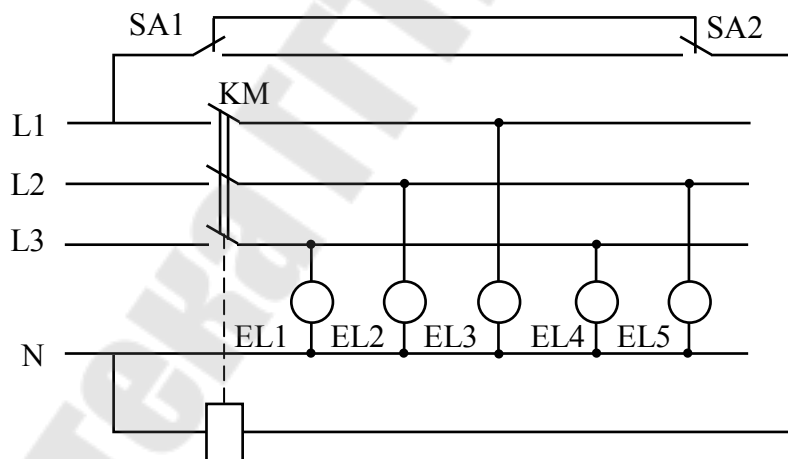


Рис. 4.4. Коридорная схема управления освещением с применением магнитного пускателя

Возможны и другие варианты местного управления освещением. На рис. 4.5 – 4.8 приведены некоторые из них в однолинейной схеме с использованием системы засечек.

На семе рис. 4.5 отдельно включаются левые и правые светильники, а на схеме рис. 4.6 – верхние и нижние.

Схемой на рис. 4.7 также отдельно включаются верхние и нижние светильники, но штепсельная розетка не выключается вообще. Схема рис. 4.8 при наличии только засечек может быть прочтена различно, поэтому здесь понадобилось дополнительно отметить одинаковыми цифрами светильники и управляющие ими выключатели.

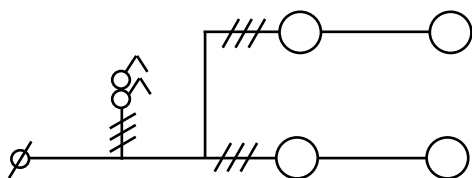


Рис. 4.5

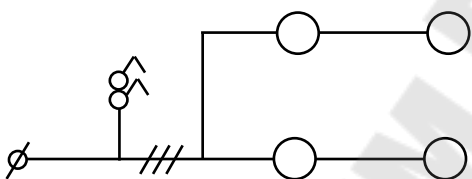


Рис. 4.6

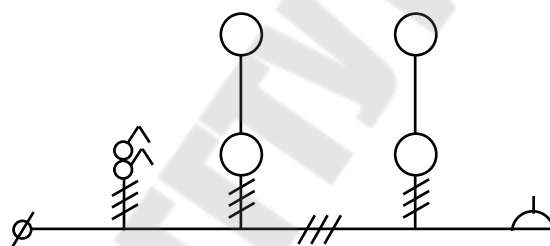


Рис. 4.7

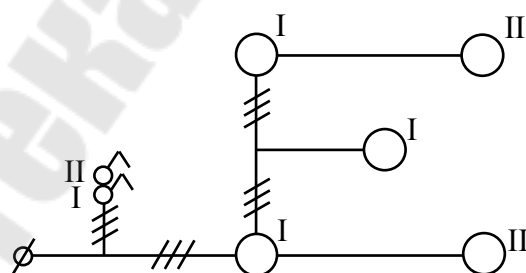


Рис. 4.8

Если местное управление освещением приводит к большим затратам времени, а также когда требуется включение осветительной установки по заданной программе, применяется **централизованное дистанционное управление (ЦДУ)**, т.е. управление на расстоянии.

При ЦДУ пункт управления сосредотачивается в одном или нескольких местах, например на центральном диспетчерском пункте.

Передача команды на включение или отключение коммутационного аппарата, управляющего светильниками, производится по линии связи. В качестве линии связи могут быть использованы самостоятельные кабельные или воздушные линии, либо что предпочтительнее – жилы кабелей телефонной сети. При большой удаленности объектов управления и большом количестве управляемых объектов, например, уличное освещение городов, применяют телемеханические устройства – системы телеуправления. При ЦДУ или телеуправлении обязательно должна быть предусмотрена сигнализация исполнения команды, а также сохранена возможность местного управления освещением.

Централизованное управление освещением может осуществляться с групповых щитков путем использования автоматических выключателей, защищаемых групповые линии. При необходимости, когда позволяют условия, для управления освещением можно использовать вводные автоматы групповых или магистральных щитков.

Дистанционное управление освещением может ручным или автоматическим. **Автоматическое дистанционное управление** осуществляется при помощи специальных устройств, в которых используются реле времени или фоторезисторы.

Автоматы с часовыми механизмами включают и отключают освещение в определенное время суток по устанавливаемой программе. Выпускаются однопрограммные реле типа 2РВ и двухпрограммные – 2РВМ.

Более перспективными являются фотоэлектронные автоматы, управляющие искусственным освещением в зависимости от уровня естественной освещенности. Выпускается большое разнообразие таких автоматов, например, АО, Ф2, ФРМ-62 и др.

Могут также применяться системы автоматического управления осветительными установками, обеспечивающие отключение рядов светильников, расположенных параллельно окнам, в зависимости от уровня естественной освещенности.

На рис. 4.9 приведена принципиальная схема автомата типа АО.

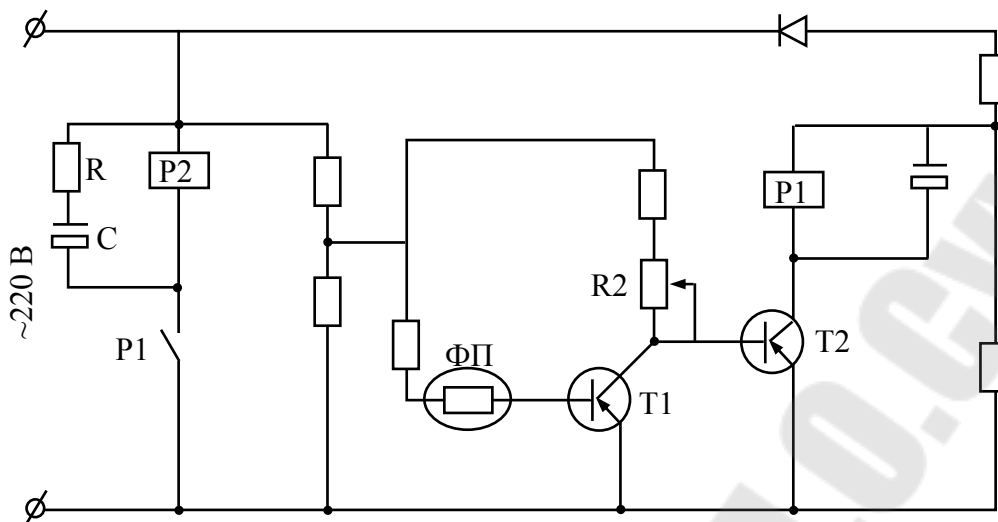


Рис.4.9. Принципиальная схема автомата типа АО

В схеме, приведенной на рис. 4.9 в качестве датчика освещенности используется фоторезистор ФП типа ФСКГ, величина сопротивления которого изменяется обратно пропорционально естественной освещенности.

При большой освещенности ФП обладает малым сопротивлением, триод Т1 открыт, триод Т2 закрыт, реле Р1 и Р2 обесточены. С наступлением темноты сопротивление ФП возрастает, триод Т1 закрывается, Т2 открывается и срабатывают реле Р1 и Р2. Максимальный ток коммутации контактов реле Р2 равен 0,5 А, поэтому реле Р2 управляет магнитным пускателем, который в свою очередь включает освещение.

Для исключения ложной работы автомата при кратковременных случайных изменениях освещенности предусмотрена задержка на срабатывание реле Р2 с помощью цепочки RC.

Настройка автомата на включение при заданной освещенности осуществляется изменением сопротивления резистора R1. Отключение автомата происходит при естественной освещенности, превышающей освещенность включения на 5-10 лк.

Для дистанционного управления электрическим освещением производственных цехов и участков, имеющих большие пролеты применяются пульты управления. Одной из разновидностью таких пультов является пульт ПУ-Ин1, схема которого представлена на рис. 4.9.

Пульты ПУ-Ин1 могут применяться совместно с осветительными щитками и имеют возможность 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 пультам 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. 4.10) подается напряжение на цепи управления и сигнализации. При этом получает питание светодиодный излучатель VD8, сигнализируя о подаче 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.

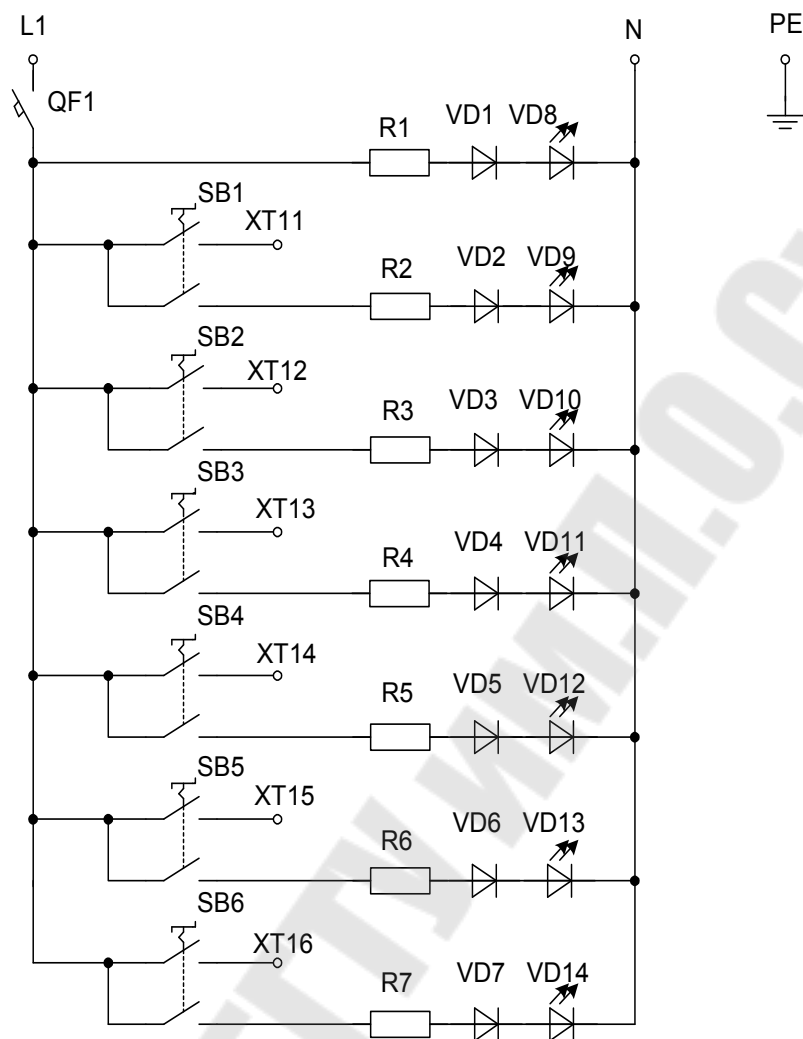


Рис. 4.10. Схема электрическая принципиальная пульта дистанционного управления ПУ-Ин1

Освещение производственных цехов и участков выполняется светильниками с мощными источниками света – лампами ДРЛ, ДРИ, ДНаТ мощностью 250, 400, 700, 1000 Вт, поэтому питание групповых линий осуществляется в основном по трехфазной системе напряжения с чередованием подключения светильников по фазам L1, L2, L3. В этом случае целесообразно применить схему включения двух пускателей на одну трехфазную групповую линию. Тогда электромагнитным пускателем, например, 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.

Дистанционное управление освещением может ручным или автоматическим. Автоматическое дистанционное управление осуществляется при помощи специальных устройств, в которых используются реле времени или фоторезисторы.

Автоматы с часовыми механизмами включают и отключают освещение в определенное время суток по устанавливаемой программе. Выпускаются однопрограммные реле типа 2РВ и двухпрограммные – 2РВМ.

Более перспективными являются фотоэлектронные автоматы, управляющие искусственным освещением в зависимости от уровня естественной освещенности. Выпускается большое разнообразие таких автоматов, например, АО, Ф2, ФРМ-62 и др.

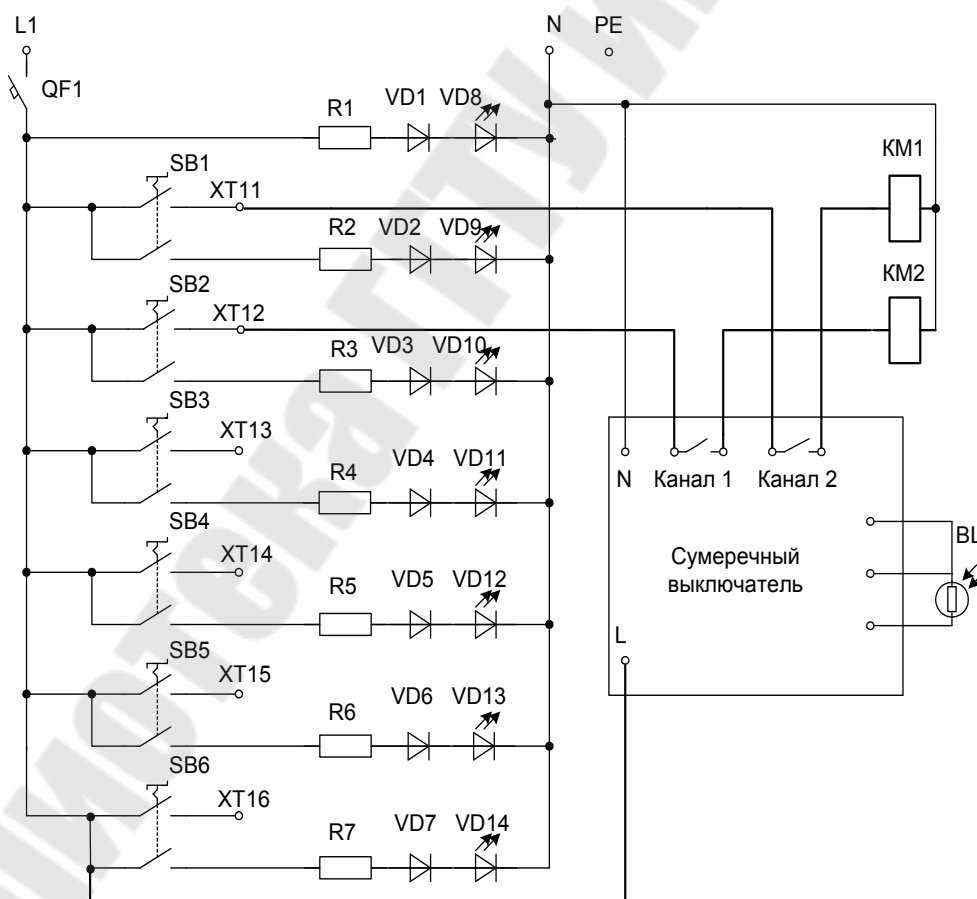


Рис. 4.11. Схема автоматического управления осветительной установкой внутреннего освещения

Могут также применяться системы автоматического управления осветительными установками, обеспечивающие отключение рядов светильников, расположенных параллельно окнам, в зависимости от уровня естественной освещенности.

При включении пульта дистанционного управления ПУ-Ин1 совместно со светочувствительным автоматом (рис. 4.11) можно осуществить и автоматическое управление нескольких групповых линий внутреннего освещения в зависимости от уровня естественного освещения производственных помещений.

Светочувствительный сумеречный выключатель фирмы «ИНО-САТ-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 2x0,25 мм² длиной до 100 м.

В производственных, жилых и общественных зданиях могут применяться системы освещения с регулировкой светового потока люминесцентных ламп низкого давления, оснащенных электронными ПРА. Эти системы могут быть с автоматическим или ручным управлением.

Управление установками наружного освещения территорий предприятий целесообразно осуществлять централизованно. При этом их необходимо объединять в группы в зависимости от назначения и времени работы.

К первой группе относят установки наружного освещения территорий, предназначенных для осуществления технологического процесса.

Вторую группу составляют: наружное освещение ОРУ ТП, светильники, обеспечивающие безопасность движения на тротуарах, автомобильных дорогах и т. п.

В третью группу включают охранное освещение, светильники которого располагаются по периметру территории предприятия, на проходных и т. п.

Сети наружного и внутреннего освещения должны быть раздельными. Сеть наружного освещения, как правило, выполняется отдельными линиями от подстанций. Разделение питания наружного и внутреннего освещения может осуществляться, начиная от вводного устройства в здание.

В сетях 400/230 В и 690/400 В, имеющих заземленную нейтраль, должны включаться (отключаться) все фазные провода, т.е. в трехпроводных линиях и ответвлениях, состоящих из фазного и нулевых рабочего и защитного проводников, обычно применяются однополюсные аппараты (кроме помещений класса В-1, где в однофазных группах необходимы двухполюсные аппараты, отключающие фазный и нулевой рабочий проводники). В трехфазных группах возможно несколько подходов к решению данного вопроса. Если эти группы питают только однофазные электроприемники, то фазные провода включаться (отключаться) совместно (трехполюсными выключателями) и раздельно (однополюсными выключателями). Последний вариант является более предпочтительным, поскольку позволяет отключать при необходимости только часть светильников и облегчает поиск отказавших участков сети, так как при однофазных коротких замыканиях автоматически отключается только поврежденная цепь.

4.2. Эксплуатация осветительных установок

Эксплуатацию осветительных установок на предприятии ведет служба главного энергетика. Штат работников, занимающихся этой деятельностью, определяется трудоемкостью полного объема работ по техническому обслуживанию и ремонту осветительных установок.

Правильная организация эксплуатации осветительных установок предусматривает:

- приемку осветительной установки в эксплуатацию;
- регулярную чистку светильников и смену ламп;
- проведение планово-предупредительных осмотров и ремонтов;
- контроль за освещенностью на рабочих местах.

Приемка в эксплуатацию осветительных установок производится по исполнительным рабочим чертежам. Проверяется соответствие всех элементов установки чертежам, в том числе и мощности ламп в светильниках. Выборочно измеряется освещенность, которая должна быть выше нормируемой на величину коэффициента запаса.

Периодичность чистки светильников определяется характером среды освещаемого помещения. При большом пылевыделении чистка

должна производиться не реже 2 раз в месяц, при среднем выделении пыли и дыма – 1 раз в месяц, при незначительном пылевыведении – 1 раз в три месяца. Необходимость проведения чистки определяется осмотром осветительной установки. Рекомендуемая периодичность чистки светильников указывается в отраслевых нормах искусственного освещения.

Лампы должны своевременно заменяться. При этом возможна либо групповая замена ламп через промежутки времени, определяемые сроком их службы, либо индивидуальная замена перегоревших ламп.

Своевременная замена сгоревших ламп, а также чистка светильников и ламп могут быть обеспечены при наличии приспособлений и устройств для их обслуживания – приставных лестниц, стремянок, спускных устройств, технологических мостиков, кранов или кран-балок, автомашин с телескопической вышкой и т. д. Предусмотренный способ чистки должен быть оговорен в проекте.

Кроме того при эксплуатации составляется график планово – предупредительных ремонтов (ППР) и осмотров осветительного оборудования. Осмотру и ремонту подлежат: осветительная сеть, в т.ч. щитки освещения, понижающие трансформаторы, обычные и автоматические выключатели, штепсельные розетки, предохранители, осветительные приборы, патроны и т.п.

Рекомендуемые сроки ППР приведены в нормативно – правовых материалах.

Не реже одного раза в год проверяется сопротивление изоляции осветительной сети, а также качество выполнения защитного заземления.

С периодичностью один раз в месяц выборочно люксметром измеряется освещенность на рабочих местах. При этом напряжение в питающей сети должно отличаться от номинального не более, чем на $-5...+5\%$.

Следует помнить, что в газоразрядных источниках света, с целью получения ультрафиолетового излучения, а также изменения спектра, находится дозированное количество ртути – в лампах ДРЛ от 25 до 165 мг, в люминесцентных лампах низкого давления – от 60 до 120 мг. Она имеется также и в других разрядных источниках света.

Ртуть является одним из наиболее токсичных химических элементов. Естественно, что разбитые газоразрядные лампы являются источником ртутных загрязнений. Предельная концентрация в рабо-

чей зоне паров ртути не должна превышать $0,01 \text{ мг/м}^3$. Демеркуризация (извлечение ртути) в пределах рабочей зоны включает в себя механическую очистку загрязненных мест от видимых шариков ртути, химическую обработку загрязненных поверхностей и влажную уборку с целью удаления продуктов реакции ртути с химическими веществами.

Механическую очистку производят стеклянными ловушками, оснащенными резиновыми грушами. Мелкие капельки ртути с гладких поверхностей удаляют влажной фильтрованной или газетной бумагой. При попадании ртути в щели ее извлекают при помощи полосок или кисточек из белой жести, медной или латунной проволоки или других хорошо соединяющихся с ртутью металлов.

Химическая обработка основана на окислении ртути. Одним из наиболее простых и надежных является метод, использующий взаимодействие ртути с 20%-ным водным раствором хлорида железа. Поверхность, подлежащая обработке, обильно смачивают указанным раствором и несколько раз протирают щеткой, а затем оставляют до полного высыхания, после чего поверхность тщательно промывают мыльным раствором, а затем чистой водой. При этом следует иметь в виду, что раствор хлорида железа вызывает сильную коррозию металла.

Серьезной проблемой на сегодняшний день является утилизация отработавших и отбракованных газоразрядных ламп. Вывоз их на свалки или захоронение на специальных полигонах может вызвать ртутное заражение почвы и подземных вод. Наиболее прогрессивным способом утилизации газоразрядных ламп является их централизованный сбор с последующей демеркуризацией на специальных установках.

Следует отметить, что такое мероприятие является дорогостоящим. Однако с точки зрения охраны окружающей среды оно необходимо даже при экономической невыгодности.

4.3. Экономное использование электроэнергии осветительными установками

Обеспечение экономного использования электрической энергии осветительными установками (ОУ) является одной из составляющих общей проблемы энергосбережения. Важность экономии электроэнергии в ОУ определяется еще и тем, что на электрическое освещение расходуется не менее 12 % от общего потребления электроэнергии в нашей стране, что составляет около 4 млрд. кВт · ч в год.

Пути и способы экономного использования электроэнергии ОУ должны рассматриваться как на стадии эксплуатации ОУ, так и при проектировании их.

Наряду с решением вопросов экономного использования электроэнергии ОУ необходимо строго учитывать количественные и качественные требования к искусственному освещению, регламентированные СНБ 2.04.05-98.

Экономия электроэнергии в ОУ не должна быть за счет снижения норм и качества освещения, отключения части осветительных приборов или отказа от использования искусственного освещения при недостаточном уровне естественного, т.к. это приводит к ухудшению зрительной работы и психофизического состояния работающих, повышению травматизма, снижению производительности труда и качества выпускаемой продукции. Ущерб от ухудшения освещения может значительно превосходить стоимость сэкономленной электроэнергии.

С целью систематизации подхода к энергосбережению, охвата всех областей, объектов, факторов, формирующих электропотребление ОУ, чтобы в полном объеме разработать (наметить) мероприятия по экономии электроэнергии на освещение, предлагается анализ электропотребления ОУ выполнять по организационно-техническому и функциональным принципам.

На рисунке 4.12 приведена структурная схема, характеризующая электропотребление ОУ, построенная по организационно-техническому принципу.

Комплексное эффективное использование естественного и искусственного освещения, т.е. создание совмещенных систем освещения, но не на основе традиционных приемов остекления, которые приводят еще и к тепловым потерям, а с более совершенными устройствами – световодами, световыми люками, устройством шахт, фонарей при преимущественном заборе верхнего света, является одним из основных факторов, обеспечивающих экономное использование электроэнергии ОУ.

По функциональным признакам все факторы, определяющие расход электроэнергии на освещение, а, следовательно, и области возможной экономии ее можно условно классифицировать на следующие три группы: светотехнические, электрические и организационные, в т.ч. управление освещением.

Светотехническими факторами являются:

– *естественное (дневное) освещение*. Правильная организация естественного освещения может значительно сократить потребность в искусственном освещении. Сочетание хорошего естественного освещения и регулируемого искусственного освещения могут обеспечить общее сбережение на ОУ на уровне 30...70 %;

– *система освещения*. Комбинированная система освещения, при которой совместно с общим применяется и местное освещение, в зависимости от разряда зрительной работы и плотности расположения рабочих мест (м²/раб) может обеспечить экономию электроэнергии до 60 % .

При проектировании или реконструкции ОУ необходимо оценивать возможность применения общей локализованной системы освещения;

– *уровень освещенности*. Уровень нормируемой минимальной освещенности регламентируются строительными нормами РБ – "СНБ 2.04.05-98. Естественное и искусственное освещение" и определяются физиологическими требованиями зрения человека, развитием осветительной техники и уровнем энерговооруженности страны. Следует отметить, что среднеевропейские уровни освещенности помещений на 100...200 лк выше, чем нормы, установленные СНБ;

– *световая отдача источников света (ИС)*, определяющая их экономичность. В табл. 4.1 приведены предельные значения величин световой отдачи существующих ИС.

Таблица 4.1

Предельные значения величин световой отдачи источников света, лм/Вт

ЛН	КГ	ЛЛ	КЛЛ	ДРЛ	ДРИ	ДНаТ	ДКсТ
8...20	15...28	35...80	40...90	40...60	35...100	80...140	20...45

Примечание: ЛН – лампы накаливания; КГ – галогенные лампы накаливания; ЛЛ – люминесцентные лампы низкого давления; КЛЛ – компактные люминесцентные лампы; ДРЛ – ртутные лампы высокого давления; ДРИ – металлогалогенные лампы высокого давления; ДНаТ – натриевые лампы высокого давления; ДКсТ – ксеноновые лампы.

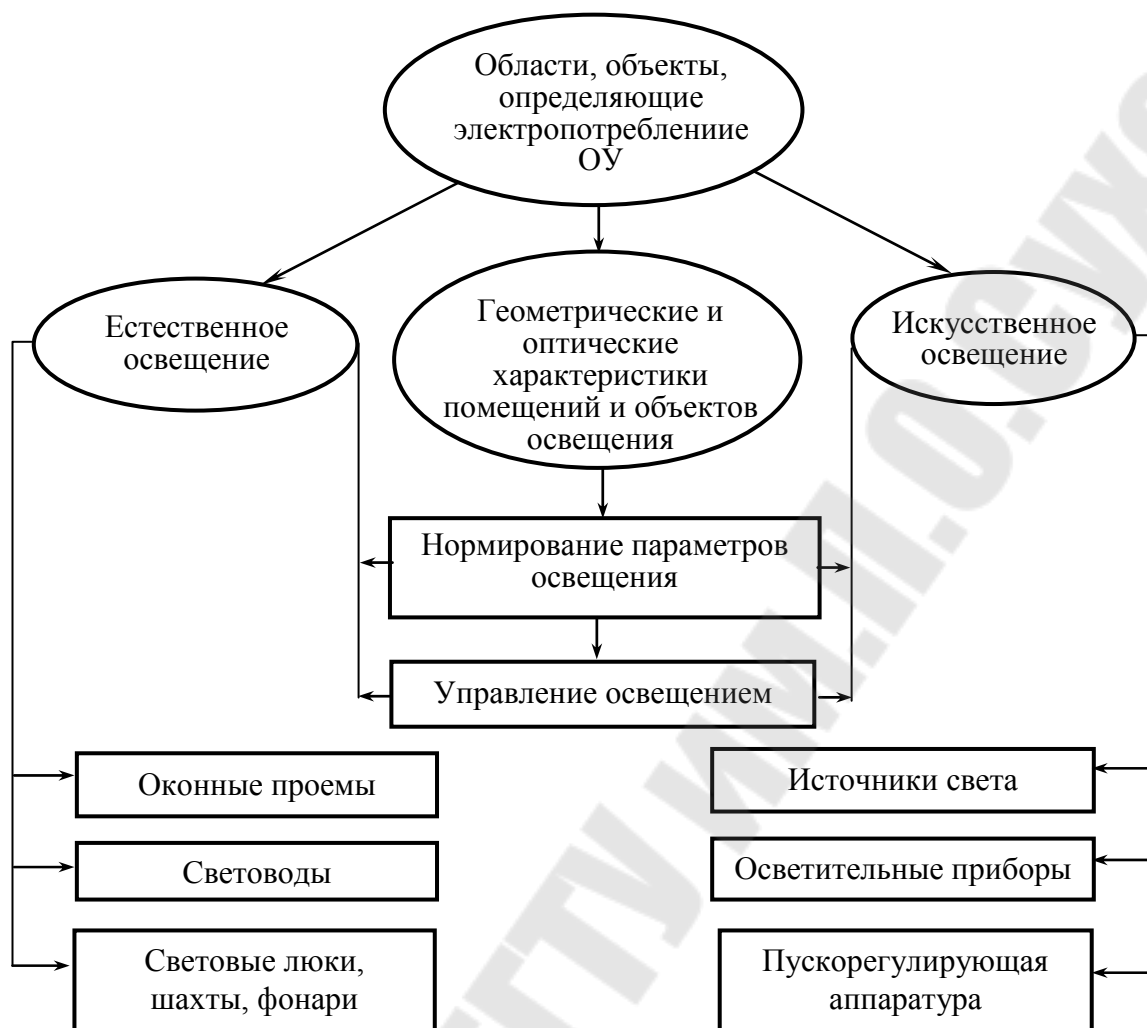


Рис. 4.12. Структурная схема, характеризующая электропотребление ОУ

Чем выше световая отдача ИС, тем меньшая необходима его мощность для обеспечения требуемого светового потока Φ (освещенности – E_{\min}). При переходе от ЛН к газоразрядным лампам (ГЛН) расход электроэнергии на освещение снижается в 4...8 раз.

– **коэффициент использования светового потока** (η). η а также количество источников света (светильников) – n , являются активными параметрами, определяющими мощность источника света в соответствии с методом коэффициента использования светового потока:

$$\Phi = \frac{E_{\min} \cdot K_3 \cdot z \cdot S}{n \cdot \eta} \quad (4.1)$$

Коэффициент использования светового потока можно представить в виде:

$$\eta = \eta_c \cdot \eta_{\text{п}}, \quad (4.2)$$

где η_c – к.п.д. светильника, о.е.;

$\eta_{\text{п}}$ – к.п.д. помещения, о.е.

Чем выше η , тем меньшей мощности необходим ИС.

– **коэффициент полезного действия светильника** (η_c), представляющий собой отношение светового потока светильника к полному световому потоку источника (источников) света светильника. η_c определяется его конструктивным исполнением, материалами отражателей и рассеивателей;

– **коэффициент полезного действия помещения** или унифицированное значение коэффициента использования помещения ($\eta_{\text{п}}$). $\eta_{\text{п}}$ определяется коэффициентами отражения ($\rho_{\text{п}}$ – потолка, ρ_c – стен, ρ_p – рабочей поверхности), типовыми кривыми силы света светильников (КСС) и индексом помещения (i):

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p (A + B)}, \quad (4.3)$$

где A, B – соответственно длина и ширина помещения, м;

H_p – высота подвеса светильников над расчетной плоскостью, м.

Для одного значения индекса помещения $\eta_{\text{п}}$ в зависимости от КСС может различаться максимально в 4 раза, в большинстве до 1,5...2 раз. Чем выше отражающие коэффициенты $\rho_{\text{п}}$, ρ_c , ρ_p , тем выше коэффициент использования светового потока.

Таким образом, η для обеспечения минимального потребления электроэнергии на освещение обуславливает необходимость иметь "светлое" помещение, выбор типа светильников с соответствующими КСС, наивысшим η_c , минимальной высотой подвеса светильников (H_p);

– **размещение светильников**. Размещение светильников определяется высотой подвеса их и расположением светильников на плане (генплане) освещаемого объекта.

Высота подвеса светильников в значительной степени обуславливает выбор мощности ИС, а, следовательно, определяет и величину расхода электроэнергии на освещение. Об этом свидетельствует то,

что величина освещенности поверхности обратно пропорциональна квадрату расстояния до ИС:

$$E = \frac{I \cdot \cos\alpha}{R^2} = \frac{\Phi \cdot \cos\alpha}{\omega \cdot R^2}; \quad (4.4)$$

при $\alpha = 0$

$$E = \frac{\Phi}{\omega \cdot H_p^2} = \frac{I}{H_p^2}. \quad (4.5)$$

Следует одновременно отметить, что в связи с тем, что ряд показателей ОУ регламентируется нормами искусственного освещения, высота подвеса светильников должна приниматься одновременно с решением других задач проектирования – выбора ИС, светильников, систем обслуживания и др. А также и то, что при выборе высоты подвеса учитываются строительные особенности помещений – наличие ферм, технологических мостиков, размеры строительного модуля; одновременно рассматриваются способы прокладки и монтажа проводов и кабелей осветительной сети.

Расположение светильников с т.з. минимальных затрат на электроэнергию должно осуществляться по критерию энергетической экономичности (\mathcal{E}_3), под которой понимается отношение нормируемой (минимальной) освещенности (E_{\min}) к удельной осветительной нагрузке ($\rho_{\text{уд}}$):

$$\mathcal{E}_3 = \frac{E_{\min}}{\rho_{\text{уд}}}. \quad (4.6)$$

Рост энергетической экономичности в соответствии с выражением (4.6) является следствием уменьшения удельной осветительной нагрузки, необходимой для создания заданной освещенности.

Для каждого типа светильников (типовой КСС) существует наиболее выгоднейшее относительное расстояние между светильниками, при котором обеспечивается максимальная энергетическая экономичность, где L – это расстояние между светильниками.

В производственных помещениях с типовыми строительными модулями, светильники размещаются обычно на фермах в виде продольных рядов. В этих случаях, чтобы не было перерасхода электроэнергии на освещение рекомендуется применение так называемых неравномерных схем размещения светильников. Такие неравномер-

ные схемы размещения светильников уменьшают неравномерность освещения, а, следовательно, и расход электроэнергии.

Электрические факторы:

– *рациональное построение осветительной сети.* Должна быть обеспечена минимальная протяженность электрической сети, без обратных потоков электроэнергии или с минимумом их. При разработке схемы необходимо учитывать: возможность эффективного управления ОУ, организации технического учета расхода электроэнергии на освещение;

– *потери в пускорегулирующем аппарате (ПРА)* могут составлять в зависимости от типа его от 5 до 30 % потребляемой мощности (энергии). В таблице 4.2 приведены средние значения коэффициентов потерь в ПРА.

Таблица 4.2

Значения коэффициентов потерь в ПРА

Источник света	Тип ПРА	Коэффициент потерь в ПРА
ЛЛ	электромагнитный	1,22
	электромагнитный с пониженными потерями	1,14
	электронный	1,1
КЛЛ	электромагнитный	1,27
	электромагнитный с пониженными потерями	1,15
	электронный	1,1
ДРЛ, ДРИ	электромагнитный	1,08
	электронный	1,06
ДНаТ	электромагнитный	1,1
	электронный	1,06

Использование электронных ПРА вместо традиционных электромагнитных (стартерных, дроссельных или с накальным трансформатором) позволяет снизить потребляемую мощность на 5...15 %;

– *регулирование напряжения питания осветительных установок.* В табл. 4.3 приведены зависимости основных параметров ИС от напряжения питающей сети.

Эти зависимости получены в пределах нормально допустимых значений установившегося отклонения напряжения на выводах осветительных приемниках $\pm 5\%$.

Следует отметить, что периодический выборочный контроль освещенности на рабочих местах должен также производиться, когда отклонение напряжения в сети не превышает $\pm 5\%$. С т.з. экономии электроэнергии выгодно напряжение на выводах осветительных при-

борах иметь ближе к минимально допустимому уровню (95 %) при отсутствии регулирования напряжения по критерию необходимой освещенности. Однако следует помнить, что при этом увеличиваются потери электроэнергии в самих осветительных сетях.

Таблица 4.3

Зависимость основных параметров ИС от напряжения питающей сети

Соотношения	Значения n для ИС					
	ЛН	ЛЛ с ЭМПРА	ДРЛ	ДРИ	ДНаТ	ДКсТ
$\frac{\rho}{\rho_n} = \left(\frac{U}{U_n}\right)^n$	1,6	1,9	2	2,2	2,4	3,5
$\frac{\Phi}{\Phi_n} = \left(\frac{U}{U_n}\right)^n$	2,6...3,6	1,5	2,5	2,5	2,7	3,5
$\frac{\Phi_p}{\Phi_{pn}} = \left(\frac{U}{U_n}\right)^n$	2	-0,42	0,5	0,3	0,3	-

Примечание: U_n , U – номинальное и фактическое значения напряжения соответственно, В; ρ_n , ρ – номинальная и фактическая мощность источника света, соответственно, Вт; Φ_n , Φ – световой поток ИС при номинальном и фактическом уровнях напряжения соответственно лм; Φ_{pn} , Φ_p – световая отдача ИС при номинальном и фактическом уровнях напряжения соответственно, лм/Вт.

Величина рационального напряжения в пределах допустимых значений отклонения напряжения $\pm 5\%$ будет определяться конкретными данными, типом и мощностью источников света, протяженностью осветительной сети.

Современные системы регулирования освещения, учитывающие изменение напряжения в осветительной сети, а также освещенность от естественного освещения позволяют снизить энергопотребление в системе искусственного освещения до 30 и более процентов;

– **компенсация реактивной мощности.** Предполагается применение групповой компенсации реактивной мощности при применении осветительных приборов с газоразрядными лампами высокого давления без индивидуальной компенсации. Светильники с газоразрядными лампами низкого давления как правило выпускаются с индивидуальной компенсацией реактивной мощности.

Организационные факторы:

– *более полное использование естественного освещения*, путем переноса начала и окончания смен, рабочего дня, сезонного перехода на "летнее", "земное" время;

– *способы и технические средства управления освещением.*

Предполагается применение автоматического управления: а) непрерывное плавное управление световым потоком светильников, а следовательно и мощностью ИС в зависимости от распределения естественной освещенности (позволяет экономить до 40 % расходуемой электроэнергии); б) контроль уровня освещенности и автоматическое включение и отключение системы освещения по заданным значениям минимальной и максимальной освещенности (экономия электроэнергии может составлять до 15 %); в) зонное управление освещенности в зависимости от времени и (или) естественной освещенности (экономия электроэнергии – до 25 %).

Применение выключателей, в основном для мест общего пользования, с автоматической задержкой времени на отключение.

– *стимулирование работников* за экономное использование электрической энергии ОУ. Осознание того, что экономия электроэнергии на освещение является одной из составляющих важнейшей проблемы энергетики – энергосбережения.

Современный уровень развития осветительной техники позволяет в настоящее время применять:

– *для освещения производственных помещений* – светильники с лампами высокого и низкого давления с электронными пускорегулирующими аппаратами (ЭПРА), имеющими значительно меньшие потери мощности, высокий коэффициент мощности. Как вариант использовать ЭПРА с регулированием светового потока;

– *в общественных зданиях* – светильники с разрядными люминесцентными лампами мощностью 18 и 36 Вт, например, типа "Рубин" – 2×18, 4×18, 2×36, 4×36. Этот тип светильников имеет зеркальные отражатели из шлифованного алюминия, которые эффективно распределяют световой поток ламп в помещении, создают комфортные условия;

– *в жилых зданиях* – компактные люминесцентные лампы с цоколем E27 мощностью 4, 7, 9, 11, 13, 18 Вт, позволяющие полную замену ламп накаливания. Широкий выбор электробытовых осветительных приборов выпускает БелОМО г. Минск с компактными гало-

генными лампами, имеющими интенсивный световой поток, что позволяет снизить электропотребление в 2...2,5 раза.

– в жилищно-коммунальном хозяйстве:

а) затрачиваемую электроэнергию на освещение мест общего пользования жилищного фонда уменьшить за счет реконструкции освещения подъездов и лестничных площадок.

Для этих целей могут быть применены антивандальные светильники серии ЛПБ 31-11-006 с компактной люминесцентной лампой КЛ-11 мощностью 11 Вт (корпорация «МАКСКОМ» г. Минск, «КРЭЗИСЕРВИЗ» представительство г. Гомель) вместо существующих светильников ПСХ-60 с лампами накаливания мощностью 60 Вт. Предлагаемая замена не снижает освещенность подъездов и лестничных площадок.

Сравнительные технические данные ламп накаливания и компактных люминесцентных ламп приведены в таблице 4.4.

Расчет экономии электроэнергии при замене светильника с лампой накаливания мощностью 60 Вт на светильник с компактной лампой мощностью 11 Вт.

Таблица 4.4

Сравнительные данные ламп накаливания и компактных люминесцентных ламп

Тип ламп	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Срок службы, час	Тип цоколя
БК 215-225	60	800	800 - 1000	E27
КЛ-11	11	900	8000	G23

Расход электроэнергии светильника с лампой накаливания составит:

$$\mathcal{E}_1 = P_{\text{уст}} \cdot K_c \cdot T_p,$$

где $P_{\text{уст}}$ – установленная мощность освещения, кВт;

K_c – коэффициент спроса;

T_p – время работы освещения, 20 час в сутки или 7300 час в год

$$\mathcal{E}_1 = 0,06 \cdot 0,9 \cdot 7300 = 394,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

В тоннах условного топлива –

$$0,3942 \cdot K_{\text{топл}} = 0,3942 \cdot 0,28 = 0,110 \text{ т у.т.},$$

где $K_{\text{топл}}$ – коэффициент пересчета электроэнергии в условное топливо равный 0,28 кг у.т./ кВт·ч

$$\mathcal{E}_2 = 0,011 \cdot 0,9 \cdot 7300 = 72,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

В тоннах условного топлива – $0,0723 \cdot 0,28 = 0,020$ т у.т.

При замене одного светильника подъезда экономия составит:

$$\Delta \mathcal{E} = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2;$$

$$\Delta \mathcal{E} = 0,110 - 0,20 = 0,09 \text{ т у.т.}$$

В денежном выражении – $0,09 \times 60 = 5,4$ у.е.

Затраты на приобретение: светильника – 12 у.е.

Срок окупаемости составит:

$$C_{\text{осв}} = K_{\text{осв}} / \Delta \mathcal{E} = 12 / 5,4 = 2,2 \text{ года};$$

б) применение 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. Широкий выбор лестничных автоматов предлагает совместное Белорусско-Польское предприятие «ЕВРОАВТОМАТИКА» г. Лида.

– для наружного освещения территории предприятий, организаций, а также уличного освещения – разрядные лампы высокого давления типа ДНаТ с электронными пускорегулирующими аппаратами, имеющие световую отдачу значительно выше ламп ДРЛ, ДРИ, минимальными потерями в ПРА и коэффициент мощности не ниже 0,95 (ОАО "ЭНЕФ" г. Молодечно).

Перспективным в развитии осветительной техники является разработка и применение светоизлучающих диодов (СИД).

Выводы

1. Экономное использование электроэнергии осветительными установками обуславливает необходимость системного и комплексного подхода к решению данной проблемы, с учетом совместного рассмотрения вопросов проектирования и эксплуатации осветительных установок.

2. Необходимо обновление нормативно-справочной информации для проектирования осветительных установок на основании достижений осветительной техники, результатов энергетического обследования осветительных установок.

3. Комплексное эффективное использование естественного и искусственного освещения на базе совмещенных систем освещения является одним из важнейших факторов, обеспечивающих экономное использование электроэнергии осветительными установками.

4. В общем случае все факторы, определяющие расход электроэнергии на освещение можно классифицировать на: светотехнические, электрические, организационные. Анализ этих факторов для конкретной осветительной установки позволит в полной мере наметить мероприятия по экономии электроэнергии в ОУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Епанешников, М.М. Электрическое освещение: учебное пособие для учебных заведений. – М.: Энергия, 1973. – 352 с. студентов высших учебных заведений. – М.: Энергия, 1973. – 352 с.
2. Кнорринг, Справочная книга для проектирования электрического освещения /Г.М. Кнорринг, И.М. Фадин, Сидоров В.Н. – СПб.: Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.
3. Козловская, В.Б. Электрическое освещение: справочник / В.Б. Козловская, В.Н. Радкевич, В.Н. Сацукевич. – Мн.: Техноперспектива, 2007. – 255 с.
4. Ус, А.Г. Электрическое освещение: практическое пособие по выполнению курсового и дипломного проектирования /А.Г. Ус, В.Д. Елкин. – Гомель: ГГТУ им П.О. Сухого, 2005. – 111 с.
5. Ус, А.Г. Электрическое освещение: методические указания к курсовому проектированию в 2 частях, часть 1 /А.Г. Ус, В.Д. Елкин. – Гомель: ГГТУ им П.О. Сухого, 2007. – 55 с.
6. Ус, А.Г. Электрическое освещение: методические указания к курсовому проектированию в 2 частях, часть 2 /А.Г. Ус, В.Д. Елкин. – Гомель: ГГТУ им П.О. Сухого, 2007. – 33 с.
7. Кнорринг, Г.М. Осветительные установки. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 288 с.
8. Справочная книга для проектирования электрического освещения /под ред. Г.М. Кнорринга. – Л.: Энергия, 1976. – 384 с.
9. Лозовский Л.И. Проектирование электрического освещения. – Мн.: Высшэйшая школа, 1976. – 232 с.
10. Справочная книга по светотехнике. /Под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 528 с.
11. Правила устройства электроустановок /М-во топлива и энергетики РФ, – 6-е изд. переработан. и доп. – М.: Главгосэнерго надзор России, 1998. – 608 с.
12. Правила устройства электроустановок /М-во топлива и энергетики РФ, – 7-е изд. –М.: Издательство НЦ ЭНАС, 1999. – 316 с.
13. СНБ 2.04.05-98. Естественное и искусственное освещение. – Мн.: М-во архитектуры и строительства, 1998. – 59 с.
14. ГОСТ 30331.150-2001 (МЭК 364-5-52-93). Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Гл. 52. Электропроводки. –М.: Издательство стандартов, 2001.
15. ГОСТ 30331.10-2001 (МЭК 364-5-54-80). Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Гл. 54. Зазем-

- ляющие устройства и защитные проводники. –М.: Издательство стандартов, 2001.
16. ГОСТ 30331.2-95 (МЭК 364-3-93). Электроустановки зданий. Часть 3. Основные характеристики. –М.: Издательство стандартов, 1995. – 16 с.
 17. П2-2000 к СНИП 2.08.01-89: Электроустановки жилых и общественных зданий. –Мн.: М-во архитектуры и строительства, 2001. – 77 с.
 18. СН 357-77: Инструкция по проектированию силового и осветительного электрооборудования промышленных предприятий. –М.: Стройиздат, 1977. – 96 с.
 19. ГОСТ 21.608-84. Внутреннее электрическое освещение. Рабочие чертежи. –М.: Издательство стандартов, 1984. – 16 с.
 20. ГОСТ 21.607-82. Электрическое освещение территории промышленных предприятий. Рабочие чертежи. –М.: Издательство стандартов, 1982. – 6 с.
 21. Ю.Б.Оболенцев, Э.Л. Гиндин. Электрическое освещение общепромышленных помещений. –М.: Энергоатомиздат, 1990. –112 с.
 22. Инструкция по рациональному использованию электроэнергии и снижению затрат в промышленных осветительных установках / внутреннее освещение. –Светотехника, 1981, № 5.
 23. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Мн.: Изд-во стандартов, 1997, –30 с.
 24. Ус, А. Г. Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий: учеб. пособие / А. Г. Ус, Л.И. Евминов. – Минск : НПО «ПИОН», 2002. – 457с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Общие сведения о дисциплине «электрическое освещение». Светотехнические понятия и величины	5
1.1. Предпосылки возникновения, предмет и характеристика курса	5
1.2. Основные задачи на сегодняшний день, стоящие в области электрического освещения	8
1.3. Природа электромагнитных и видимых излучений	9
1.4. Основные световые величины	11
1.5. Световые свойства материалов	17
1.6. Основные понятия и определения	17
2. Элементы осветительных установок – источники света и осветительные приборы	19
2.1. Лампы накаливания	19
2.2. Газоразрядные источники света	29
2.3. Газоразрядные лампы высокого давления	40
2.4. Светодиодные источники света	44
2.5. Осветительные приборы	46
3. Проектирование осветительных установок	54
3.1. Объем и содержание проектных материалов	54
3.2. Светотехническая часть проекта	55
3.3. Электрическая часть проекта	91
3.4. Оформление рабочих чертежей проектов осветительных установок	126
4. Управление освещением. Эксплуатация осветительных установок. Повышение эффективности использования электроэнергии осветительными установками	128
4.1. Управление освещением	128
4.2. Эксплуатация осветительных установок	139
4.3. Экономное использование электроэнергии осветительными установками	141
Литература	153

**Ус Анатолий Георгиевич
Елкин Валерий Дмитриевич**

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

**Курс лекций
по одноименной дисциплине для студентов
специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение
(по отраслям)» специализации 1-43 01 03 01
«Электроснабжение промышленных предприятий»
дневной и заочной форм обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 20.10.11.

Рег. № 30Е.

E-mail: ic@gstu.by

<http://www.gstu.by>