

**В. В. ГОМАН  
Ф. Е. ТАРАСОВ**

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Учебное пособие

Министерство образования РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»  
Уральский энергетический институт

**В.В. Гоман, Ф.Е. Тарасов**

# **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ**

Учебное пособие по дисциплинам «Осветительные установки и системы» и «Проектирование электротехнических устройств»  
для студентов всех форм обучения специальностей  
140604 – Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов, 140605 – Электротехнологические установки и системы и 140610 – Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

Екатеринбург  
2018

**УДК 629.7.036.72(075.8)**  
**ББК 34.314-5я73**  
**Т20**

**Авторы-составители:** Тарасов Ф.Е., Гоман В. В.

**Р е ц е н з е н т ы:**

Заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов и систем НТИ (филиал) УрФУ, к.т.н., доц. В. А. Иванушкин.  
Главный конструктор проектно-конструкторского института «Ником-проект»  
ОАО Евраз-НТМК Е. Г. Кулешов  
Научный редактор: докт. техн. наук. Ф. Н. Сарапулов,  
зав. кафедрой ЭЭТС, проф.

**Проектирование и расчет систем искусственного освещения:**

учебное пособие / авт.-сост. В.В. Гоман, Ф.Е. Тарасов; Мин-во образ. РФ, ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», Уральский энерг. ин-т. – Екатеринбург: УрФУ, 2018 – 77 с.

Учебное пособие содержит сведения по теории светотехники, распространенным источникам света, ряд справочных данных. Приведены методики расчетов искусственного освещения с примерами расчетов.

Предназначено для студентов всех форм обучения специальностей 140604 – Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов, 140610 – Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений и 140605 – Электротехнологические установки и системы.

Библиогр.: 6 назв. Табл. 16 Рис. 29 Прил.5.

Подготовлено кафедрой «Электротехника и электротехнологические системы».

© Екатеринбург, УрФУ, 2018  
© Тарасов Ф.Е., Гоман В.В. 2018

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	4
1. Основные положения .....	5
1.1. Общая характеристика оптического излучения .....	5
1.2. Взаимодействие оптического излучения с телом .....	7
2. СВЕТОВЫЕ ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ .....	11
2.1. Световой поток .....	11
2.2. Освещенность .....	12
2.3. Сила света .....	13
2.4. Яркость .....	15
2.5. Прочие светотехнические характеристики .....	16
3. Источники ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ .....	18
3.1. Источники излучения и их классификация .....	18
3.2. Точечные и линейные источники излучения .....	20
3.3. Симметричные и несимметричные источники излучения .....	21
4. Искусственное освещение и ИСТОЧНИКИ СВЕТА .....	24
4.1. Лампы накаливания .....	26
4.2. Галогенные лампы .....	28
4.3. Газоразрядные источники излучения .....	30
4.4. Люминесцентные источники излучения .....	32
4.5. Ртутные лампы высокого давления (ДРЛ) .....	34
4.6. Металлогалогенные лампы .....	36
4.7. Натриевые лампы .....	37
4.8. Ксеноновые лампы .....	38
4.9. Светодиоды .....	39
4.10. Индукционные лампы (ИЛ) .....	40
5. Расчет искусственного освещения .....	46
5.1. Нормативные характеристики .....	47
5.2. Коэффициент запаса .....	48
5.3. Выбор осветительных приборов .....	49
5.4. Размещение осветительных приборов .....	57
5.5. Метод коэффициента использования светового потока .....	59
5.6. Метод удельной мощности .....	68
5.7. Точечный метод .....	69
5.8. Пример расчета освещения помещения методом КИСП .....	70
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	75

## ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие «Проектирование и расчет систем искусственного освещения» имеет своей целью ознакомить читателя с общими сведениями по светотехнике, с принципом действия и характеристиками различных источников света, а также с методами расчета искусственного освещения. Все это входит в программу дисциплины «Осветительные установки и системы», читаемой студентам специальности «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений». Поэтому пособие может рассматриваться как конспект лекций по дисциплине.

В то же время студенты данной специальности изучают дисциплину «Проектирование электротехнических устройств», в ходе которой помимо проектирования силового электрооборудования уделяется время расчету и проектированию установок искусственного освещения. В данной дисциплине рассматриваются светотехнические и электротехнические расчеты, проектные решения, требования нормативных документов. Разделы 5 и 6 пособия могут оказаться весьма полезными при изучении данной дисциплины.

Также вопросы производственного освещения рассматриваются студентами электротехнических специальностей в курсах «Безопасность жизнедеятельности» и «Энергосбережение», внимание освещению уделяется в курсе «Электрооборудование промышленности», «Потребители электрической энергии» и других. Поэтому пособие может быть использовано студентам различных электротехнических специальностей.

Работа над пособием распределилась следующим образом: Гоман В.В. – введение и разделы 5 и 6, Тарасов Ф.Е. – разделы 1-4, Сарапулов Ф.Н. – научное редактирование рукописи, общее руководство и постановка задачи.

## 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

*Освещение* – важнейший фактор обеспечения безопасности человека и сохранения его здоровья. Свет обеспечивает связь организма с окружающей средой, передачу 80 % информации, обладает высоким биологическим действием.

В производственных условиях от освещения рабочего места в значительной мере зависит сохранность зрения человека, состояние его центральной нервной системы, производительность, качество и безопасность труда. Освещение в жилых помещениях, естественно, не менее значимо. Наружные осветительные установки в городах и сельской местности также должны обеспечивать безопасность людей.

О важности систем искусственного освещения свидетельствует то, что около 10-12% всей вырабатываемой электроэнергии затрачивается на освещение.

В настоящее время происходит внедрение новых видов источников света и светильников, схем управления освещением (с целью повышения удобства и экономичности его использования), современных программных средств расчета и проектирования.

### 1.1. Общая характеристика оптического излучения

Лучистая энергия передается от тела к телу в виде фотонов электромагнитных волн различной длины (частоты). Значение энергии фотона связано с частотой электромагнитных колебаний соотношением

$$\varepsilon = h\nu = (h \cdot c)/\lambda,$$

где  $\varepsilon$  — энергия фотона, Дж;  $h$  — постоянная Планка,  $h = 6,6245 \times 10^{-34}$  Дж $\times$ с;  $\nu$  — частота электромагнитных колебаний, Гц;  $\lambda$  — длина электромагнитной волны, м.

Частота  $\nu$  и длина волны  $\lambda$  электромагнитного излучения взаимосвязаны со скоростью распространения электромагнитных волн в пространстве (со скоростью света)  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с соотношением

$$c = \lambda \nu$$

Излучения оптического диапазона спектра электромагнитных колебаний в зависимости от длины волны  $\lambda$  делят на видимое (от 380 до

760 нм), ультрафиолетовое (от 1 до 380 нм) и инфракрасное (от 760 до  $10^6$  нм) [ $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ ] (рис. 1.1).

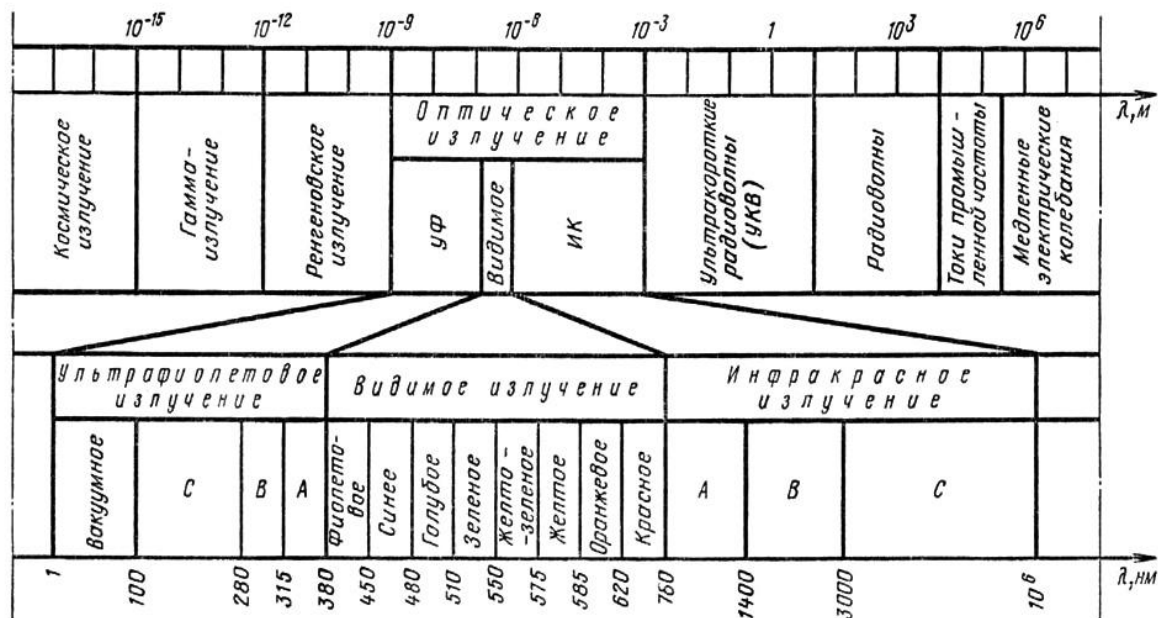


Рис. 1.1. Спектральное распределение электромагнитного излучения

Видимый солнечный свет — это сочетание излучений семи основных цветов: красного, оранжевого, желтого, зеленого, голубого, синего и фиолетового.

В оптической области спектра электромагнитных колебаний перед красным излучением находится инфракрасное (ИК-излучение), а за фиолетовым — ультрафиолетовое (УФ-излучение), (лат. «инфра» означает «впереди», а «ультра» — «за»). Инфракрасные и ультрафиолетовые лучи невидимы для человеческого глаза.

В свою очередь ультрафиолетовое (УФ) излучение подразделяют:

- на длинноволновое зоны А (от 315 до 380 нм);
- средневолновое зоны В (от 280 до 315 нм);
- коротковолновое зоны С (от 1 до 280 нм).

Ультрафиолетовое — излучение с длиной волны менее 100 нм, интенсивно поглощается воздухом земной атмосферы и не достигает поверхности Земли.

Длинноволновое УФ – излучение зоны А обладает крайне низкой фотобиологической активностью, но способно вызывать видимое свечение некоторых веществ. Поэтому его используют для люминесцентного анализа химического состава различных веществ и биологического состояния продуктов питания.

Средневолновое УФ – излучение зоны В оказывает благоприятное действие на живые организмы, вызывает эритему и загар, способствует лучшему усвоению витамина D, обладает мощным антирахитным действием. Для большинства растений УФ - излучение зоны В неблагоприятно.

Коротковолновое УФ – излучение зоны С обладает бактерицидным действием. Поэтому его применяют для обеззараживания продуктов питания, воды, воздуха, для дезинфекции и стерилизации различного инвентаря и посуды.

Инфракрасное (ИК) излучение также в зависимости от длины волны подразделяют на три зоны:

- коротковолновую А (от 760 до 1400 нм);
- средневолновую В (от 1400 до 3000 нм);
- длинноволновую С (от 3000 нм до 1 мм).

Инфракрасное излучение практически не поглощается воздухом и большую часть энергии своих фотонов расходует на образование теплоты в поверхностном слое тела нагрева. Глубина проникновения ИК - излучения в поверхностный слой составляет в среднем для воды 30...45 мм, для древесины – 3...7 мм, для сырого картофеля – до 6 мм, для тела животного – 2,5 мм, для зерна – 2 мм. В сельскохозяйственном производстве ИК - излучение используют для местного обогрева молодняка животных и птицы, сушки сельскохозяйственной продукции, лакокрасочных и других покрытий, для дезинсекции.

## 1.2. Взаимодействие оптического излучения с телом.

*Длина волны* электромагнитных колебаний – это качественная характеристика монохромного оптического излучения.

*Мощность* оптического излучения, называемая *лучистым потоком*, даёт количественную оценку оптического излучения. В общем случае мощность лучистого потока измеряется в ваттах (Вт). Для



видимого спектра оптического излучения этот поток называют *световым потоком*.

Основные величины, количественно характеризующие оптическое излучение в целом, - это *лучистый поток, ила излучения, облучённость, экспозиция*.

*Лучистый поток*  $\Phi$  (Вт), характеризующий мощность оптического излучения, численно равен лучистой энергии  $dQ$  (Дж), излучаемой источником в единицу времени  $dt$  (с):

$$\Phi = dQ / dt$$

Сила излучения  $I$  (Вт/ср) определяет удельную мощность излучения, приходящуюся на единицу пространственного угла  $d\omega$ , измеряемого в стерadianах (ср):

$$I = d\Phi / d\omega$$

Облучённость  $E$  (Вт/м<sup>2</sup>) характеризует удельную мощность излучения, приходящуюся на единицу облучаемой поверхности  $dS$  (м<sup>2</sup>):

$$E = d\Phi / dS$$

Экспозиция (Дж/м<sup>2</sup>), называемая также количеством облучения, определяет удельную энергию излучения, приходящуюся на единицу облучаемой поверхности в течение времени облучения  $\tau$  (с):

$$H = \int_0^{\tau} E dt$$

Поток оптического излучения, попадая на какой-либо объект, частично отражается от поверхности объекта, частично им поглощается и частично пропускается. Относительные значения потоков в долях от полного, упавшего на поверхность объекта, соответственно характеризуют коэффициенты:  $\rho$  – отражения,  $\alpha$  – поглощения и  $\gamma$  – пропускания. Очевидно, что

$$\rho + \alpha + \gamma = 1$$

Эти коэффициенты – важные оптические показатели различных тел. В зависимости от преобладающего значения того или иного коэффициента тела подразделяют на отражатели, поглотители и фильтры.

Из всей энергии оптического излучения в другой вид преобразуется лишь та, которая поглощается телом. Тела, в которых происходит преобразование поглощенной энергии излучения в другие виды энергии

(биологическую, тепловую, электрическую и т. д.), называют приёмниками.

Реакцию приемника оптического излучения по отношению к мощности падающего на него излучения называют чувствительностью:

$$g = \Phi_{\text{эф}} / \Phi_{\text{п}} = k\alpha\Phi_{\text{п}}\eta_{\text{э}} / \Phi_{\text{п}} = k\alpha\eta_{\text{э}},$$

где  $\Phi_{\text{эф}}$  – мера реакции приемника, или эффективный поток излучения, поглощённый и преобразованный приемником, Вт;  $\Phi_{\text{п}}$  – поток излучения, падающий на приемник, Вт;  $k$ ,  $\alpha$  – коэффициенты пропорциональности и поглощения;  $\eta_{\text{э}}$  – энергетический КПД преобразования излучения приемником.

Большинство приемников оптического излучения обладают различной чувствительностью к излучениям с разной длины волны. В этом случае говорят о спектральной чувствительности приемника  $g(\lambda)$ .

Спектральная чувствительность — основная фотометрическая характеристика приемника излучения, которая может быть выражена также в виде относительной спектральной чувствительности:

$$k(\lambda) = g(\lambda) / g(\lambda)_{\text{max}},$$

где  $g(\lambda)_{\text{max}}$  – максимальная спектральная чувствительность приемника излучения.

На рис. 1.2 показаны стандартизированные (усреднённые) функции относительной спектральной чувствительности некоторых типовых приемников оптического излучения, которые можно также расценивать как функции относительной спектральной эффективности фотобиологических воздействий: 1 – бактерицидного, 2 – витального (эритемного), 3 – светового и 4 – фотосинтезного. В соответствии с этим различают и системы эффективных величин и единиц их измерений: бактерицидную, витальную, световую и фотосинтезную.

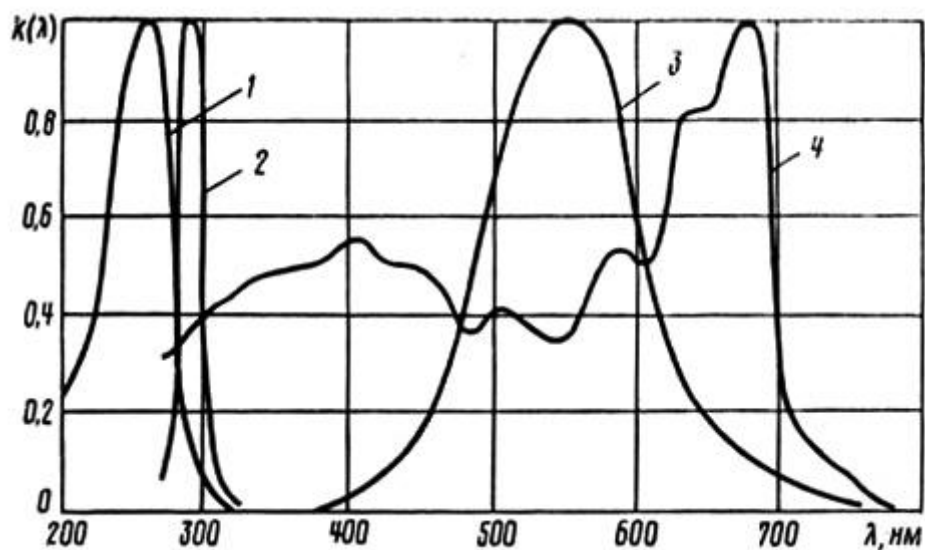


Рис. 1.2. Стандартизированные функции относительной спектральной чувствительности типовых приёмников оптического излучения: 1 - бактерий для летального действия; 2 – кожи человека для витального действия; 3 – глаза человека; 4 – зелёного листа растения.

## 2. СВЕТОВЫЕ ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ

### 2.1. Световой поток

Фотометрические величины являются объективными характеристиками источников и сред. Человек с помощью органов зрения, как было указано в п. 1.1, воспринимает лишь часть лучистого потока. Величина лучистого потока, оцениваемая по его действию на человеческий глаз, называется световым потоком, который измеряется в люменах (лм). Один люмен равен световому потоку, испускаемому точечным источником, имеющим силу света в 1 кд (кандела) внутри телесного угла, равного 1 ср (стерадиану) [1]:  $1 \text{ лм} = 1 \text{ кд} \cdot 1 \text{ ср}$

В табл. 2.1 приведены значения величин светового потока для ряда широко используемых в светотехнике источников. Видно, что технические источники (лампы накаливания, люминесцентные) создают световой поток, который, как правило, значительно меньше естественного солнечного освещения.

Таблица 2.1

Световой поток некоторых источников света

Источник света	Световой поток, лм
Электрическая лампа накаливания осветительная 100 Вт	1275
Электрическая лампа накаливания осветительная 1000 Вт	19000
Электрическая лампа накаливания прожекторная 1000 Вт	22200
Люминесцентная лампа белого цвета 15 Вт	540
Люминесцентная лампа дневного цвета 15 Вт	465
Окно площадью $1 \text{ м}^2$ , освещенное солнцем в летний полдень	30000-50000
Окно площадью $1 \text{ м}^2$ в пасмурный день	5000-10000

Важной характеристикой всякого источника света является световая отдача, которая выражается отношением создаваемого светового потока к электрической мощности (лм/Вт). В качестве примера можно указать, что светоотдача ламп накаливания лежит в пределах 10-15 лм/Вт, а люминесцентных – 35-90 лм/Вт. При идеальных условиях, при полном использовании электроэнергии на образование оптического излучения мощностью 1 Вт соответствует 683 лм. Следует заметить, что даже наилучшие современные источники света пока обеспечивают не более 200 лм/Вт.

## 2.2. Освещенность

Величина светового потока, падающего на единицу площади, называется освещенностью ( $E$ ). За единицу освещенности принят люкс (лк).

$$1 \text{ лк} = 1 \text{ лм/м}^2.$$

Для определения освещенности пользуются формулой

$$E = \Phi / S,$$

где  $\Phi$  – величина светового потока (лм);  $S$  – освещаемая площадь ( $\text{м}^2$ ).

На рис. 2.1 показано, что освещенность будет справедлива для точки  $O$ , а для точек  $O_1$  и  $O_2$  освещенность  $E = \Phi / S \cdot \cos \alpha$ .

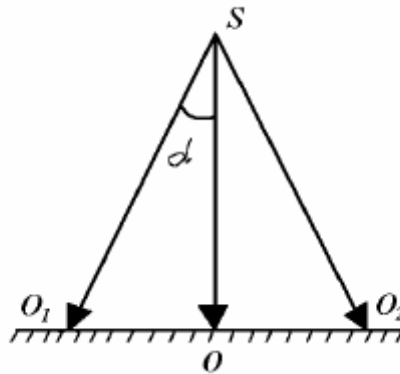


Рис. 2.1. Угол падения светового потока

Появление косинуса угла объясняется изменением площади проекции освещаемой поверхности. В табл. 2.2 приведены значения освещенности объектов, создаваемой техническими источниками, применяемыми в светотехнике.

Таблица 2.2

Освещенность поверхности в различных условиях ее освещения

Условия освещения поверхности	Освещенность, лк
Поверхность стола при настольной лампе 100 Вт	80-200
Пол комнаты под лампой накаливания 100 Вт, висящей на высоте 3 м от стола	20-30

Видно, что лампа накаливания обеспечивает очень низкое значение общего освещения (при установке источников у потолка помещения). Для нормальной работы персонала при искусственном освещении

обязательно требуется дополнительное местное освещение. Для сравнения: минимальная освещенность футбольного поля, необходимая для проведения телетрансляций, должна составлять 1200-1600 лк.

### 2.3. Сила света

За единицу силы света принята условная величина – кандела, которая определяется силой света, испускаемой поверхностью площадью  $1/600000 \text{ м}^2$  сечения полного излучателя в перпендикулярном этому сечению направлении при температуре излучателя, равной температуре затвердевания платины (2042 К) при давлении 101325 Па[1].

Таким образом, единица светового потока в один люмен равна силе света в одну канделу, распределённую в пределах пространственного угла в один стерadian (ср). Следовательно, имеем  $1 \text{ лм} = 1 \text{ кд} \cdot \text{ср}$ .

Единичный пространственный (телесный) угол в один стерadian – это угол, у которого площадь основания на сферической поверхности равна квадрату радиуса данной сферы. Наибольший телесный угол образован самой сферой и равен  $4\pi(12,56 \text{ ср})$ .

Значение силы света источника или светильника в различных направлениях принято представлять радиусами-векторами, длина которых в принятом масштабе определяет значение силы света в заданных направлениях пространства. Если излучатель или светильник круглосимметричный, то его светораспределение достаточно полно характеризуется продольной кривой силы света (КСС), представленной, например, для правой полуплоскости (рис. 2.2).

Кривая силы света (КСС) – это графическое изображение распределения света в пространстве, представляется в виде графика. Чем больше КСС напоминает овал, вытянутый вдоль вертикальной оси светового прибора, тем уже считается кривая и тем выше освещенность в центре светового пятна. Вид этой кривой – важнейшая характеристика светового прибора.

В случае несимметричных излучателей (например, светильник с трубчатыми люминесцентными лампами, который имеет две плоскости симметрии) им соответствуют продольная и поперечная КСС.

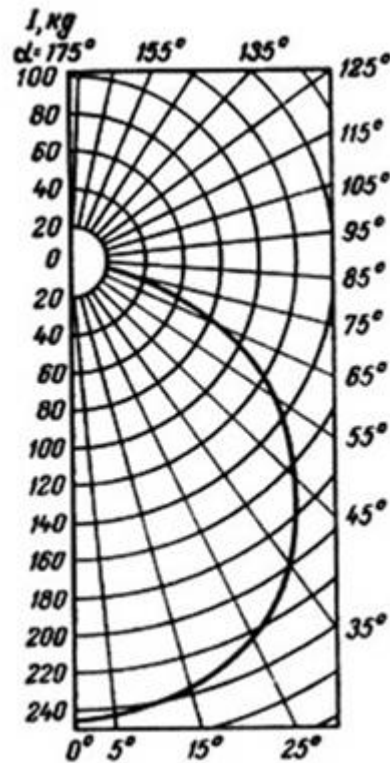


Рис. 2.2. Продольная КСС симметричного излучателя

Для источников направленного действия (прожектор и др.) указывается максимальная или осевая сила света; для источников с равномерным распределением светового потока в пространстве (лампа накаливания и др.) указывается величина силы света средняя по всем направлениям. От силы света источника зависит освещенность, которая создается на некоторой поверхности, находящейся на расстоянии  $l$  от источника:

$$E = I / l^2,$$

где  $I$  – сила света в данном направлении,  $l$  – расстояние от источника до освещаемой поверхности. Это выражение в фотометрии и светотехнике называется законом «обратных квадратов».

Значение освещённости в отдельной точке поверхности  $E_0$  подчиняется закону обратных квадратов:

$$E_0 = I_\alpha \cos \alpha / r^2,$$

где  $I_\alpha$  – сила света источника в направлении рассматриваемой точки, кд;  
 $\alpha$  – угол между нормалью (перпендикуляром) воспринимающей

плоскости и направлением к точечному источнику излучения;  $r$  – расстояние от рассматриваемой точки до источника, м.

В табл. 2.3. приведены значения силы света от некоторых источников. Раньше одна кандела приравнивалась к силе света свечи.

Таблица 2.3

## Источники света

Наименование источника	Сила света, кд
Керосиновая лампа	5
Электрическая лампа накаливания осветительная 100 Вт	120
Электрическая лампа зеркальная 500 Вт	5000
Электрическая лампа прожекторная 1000 Вт	2200
Люминесцентная лампа типа ЛД 15 Вт	45
Зенитный дуговой прожектор диаметром 1,5 м	$1,5 \cdot 10^9$

## 2.4. Яркость

Любая поверхность может быть видна только в том случае, если она попадает в поле зрения. Поток лучистой энергии может создаваться самим источником (тепловое, люминесцентное, лазерное излучение) или за счет отражения поверхностью источника света от другого естественного или искусственного источника. В любом случае яркость характеризуется свечением поверхности, которую дает в направлении наблюдателя каждая единица видимой ее площади. Самоизлучающие источники можно назвать первичными, а отражающие свет других – вторичными.

Яркость светящихся поверхностей определяется отношением силы света в рассматриваемом направлении к площади проекции этой поверхности на плоскость, перпендикулярную данному направлению ( $\text{кд/м}^2$ ).

Для светящейся поверхности конечных размеров значение средней яркости:

$$B_{\alpha} = I_{\alpha} / (S_{\Pi} \cdot \cos \alpha),$$

где  $I_{\alpha}$  – сила света, кд, излучаемая поверхностью  $S_{\Pi}$ ,  $\text{м}^2$  в направлении  $\alpha$ .



## 2.5. Прочие светотехнические характеристики

Для удобства сведем многочисленные светотехнические параметры и характеристики в табл. 2.4.

### Прочие светотехнические характеристики

Таблица 2.4

Наименование	Обозначение, определяющая формула	Краткое определение
Коэффициент отражения	$\rho = \frac{\hat{O}_{i\delta\delta}}{\hat{O}_{i\delta\delta}}$	Способность поверхности отражать падающей на нее световой поток.
Фон	—	Поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различения, на которой он рассматривается. В зависимости от коэффициента отражения $\rho$ различают светлый ( $\rho > 0,4$ ), средний ( $\rho = 0,2 \dots 0,4$ ) и темный ( $\rho < 0,2$ ) фоны
Контраст объекта различения с фоном	$K = \frac{ B_{\phi} - B_o }{B_{\phi}}$	Отношение абсолютной величины разности между яркостью объекта и фона к яркости фона. Считается: – большим при $K > 0,5$ ; – средним при $K = 0,2 \dots 0,5$ ; – малым при $K < 0,2$
Показатель ослепленности	$P = (S - 1) \cdot 1000 = \left( \frac{U_1}{U_2} - 1 \right) \cdot 1000$	Критерий оценки слепящего действия осветительной установки, зависящий от коэффициента ослепленности $S$ , равного отношению видимостей объекта наблюдения: $U_1$ – при экранировании и $U_2$ – при наличии блестящих источников света. (при наличии блестящих источников света повышенная яркость снижает зрительные функции глаза, которые связаны с образованием вуалирующей пелены на сетчатке)
Показатель дискомфорта	$\dot{I} = \frac{\sqrt{A_{\bar{n}\omega}}}{\sqrt{\phi_i A_{\delta\delta}}}$	Критерий оценки дискомфорта блескости, вызывающей неприятные ощущения при неравномерном распределении яркости в поле зрения, зависящий от яркости блестящего источника $B_c$ , кд/м <sup>2</sup> , углового размера блестящего источника $\omega$ , ср, индекса позиции блестящего источника относительно линии зрения $\phi_o$ и яркости адаптации $B_{ад}$ , кд/м <sup>2</sup>
Коэффициент пульсации освещенности	$\hat{E}_i = \frac{E_{max} - E_{min}}{2E_{\bar{n}\delta}} \times 100\%$	Критерий оценки относительной глубины колебаний освещенности в результате изменения во времени светового потока газоразрядных ламп при питании их переменным током

Примечание к табл. 2.4: *блесткость* – это повышенная яркость светящихся поверхностей, вызывающая нарушение зрительных функций (ослепленность), т.е. ухудшение видимости объектов. Блесткость ограничивают уменьшением яркости источников света, правильным выбором защитного угла светильника, увеличением высоты подвеса светильников, правильным направлением светового потока. Там, где это возможно, блестящие поверхности следует заменить матовыми.

### 3. ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

#### 3.1. Источники излучения и их классификация

Источником оптического излучения называют устройство, преобразующее любой вид энергии в энергию электромагнитных излучений оптического диапазона спектра.

В светотехнике за источник излучения принимают не только те тела, которые являются самосветящимися, но также и тела, отражающие или пропускающие свет.

Самосветящиеся тела называются первичными источниками, источники отраженного или проходящего излучения – вторичными.

Классификация источников излучения может осуществляться по различным признакам, например:

- а) по размеру источников излучения;
- б) по характеру распределения силы излучения в пространстве (по форме фотометрического тела);
- в) по спектральному распределению потока излучения (световому потоку);
- г) по времени действия излучения;
- д) по цветовой температуре;
- е) по световой отдаче.

Световая отдача источника света – это отношение излучаемого источником светового потока к потребляемой им мощности. Измеряется величина в люменах на ватт (лм/Вт) и служит характеристикой экономичности источников. Световая отдача современных ламп накаливания общего назначения 8-20 лм/Вт, люминесцентных ламп 40-80 лм/Вт.

Источники делятся на искусственные и естественные.

Искусственные источники света – технические устройства различной конструкции и с различными способами преобразования энергии, основным предназначением которых является получение светового излучения (как видимого, так и с различной длиной волны, например инфракрасного). В источниках света используется в основном электроэнергия, но иногда применяется химическая энергия, а также и другие способы генерации света (триболюминесценция, радиоломинесценция, биоломинесценция). К примеру, при раскалывании кристалла сахара получается красивая синеватая вспышка.

Естественные источники света – это природные материальные объекты и явления, основным или вторичным свойством которых

является способность испускать видимый свет. В отличие от естественных источников света, искусственные источники света являются продуктом производства человека или других. К естественным, или природным, источникам света прежде всего относят солнце, луну, планеты, кометы, полярные сияния, атмосферные электрические разряды, биолюминесценцию живых организмов, свет звезд и иных космических объектов, свечение окисляющихся органических продуктов и минералов и т.д.

Естественные источники света играют первостепенную роль в существовании жизни на Земле и оказывают значительное воздействие на окружающую среду.

Все параметры источников излучения можно разбить на две группы:

- технические.
- эксплуатационные.

Технические параметры – параметры, которые характеризуют сам источник света безотносительно к условиям его применения. К техническим относятся все электрические, световые и механические параметры ламп.

#### *Основные электрические параметры источников света.*

1. Номинальное напряжение – напряжение, на которое рассчитана конкретная лампа или на которое она может включаться с предназначенной для этого специальной аппаратурой. Для ламп накаливания все остальные параметры снимаются именно при номинальном напряжении. Номинальное напряжение (впрочем, как и любое другое) измеряется в вольтах (В, V).

2. Номинальная мощность лампы – расчетная мощность, потребляемая лампой накаливания при ее включении на номинальное напряжение. Для газоразрядных ламп номинальная мощность - это расчетная мощность, которую потребляет лампа при ее включении со специально предназначенной для этого аппаратурой. Мощность измеряется в ваттах (Вт, W).

3. Для газоразрядных ламп иногда оговаривается род питающего тока – переменный или постоянный, так как отдельные типы ламп могут работать только на постоянном токе (например, шаровые ксеноновые или ртутные). Если такой оговорки в документации на лампу нет, то лампы должны включаться только на переменное напряжение. При работе на постоянном токе обязательно указывается полярность включения: к какому выводу лампы должен подключаться

положительный полюс сети (+), к какому – отрицательный (-). Электрод лампы, к которому подключается положительный полюс напряжения, называется анодом, отрицательный – катодом.

4. Для некоторых типов ламп (например, для эталонных или образцовых ламп накаливания) вместо номинальной мощности указывается номинальный ток (1 Н), который измеряется в амперах (А) или миллиамперах (мА, тА; 1 А - 1000 мА). Из световых параметров в каталогах и справочниках чаще всего указывается номинальный световой поток  $\Phi$ , то есть поток, который создает лампа при ее номинальной мощности. Единица измерения светового потока, как уже было сказано, — люмен (лм).

### 3.2. Точечные и линейные источники излучения

В зависимости от соотношения размеров излучателя и расстояния его до исследуемой точки фотоприемника источники излучения можно условно разделить на две группы:

- а) точечные источники излучения;
- б) источники конечных размеров (линейные источники излучения).

Источник излучения, у которого размеры значительно меньше расстояния до исследуемой точки, называют *точечным*. За точечный источник принимают такой, максимальный размер ( $l$ ) которого не менее чем в 10 раз меньше расстояния до приемника излучения ( $r$ ) (рис. 3.1). Для таких источников излучения соблюдается закон обратных квадратов, согласно которому освещенность поверхности прямо пропорциональна силе света и обратно пропорциональна квадрату расстояния между излучателем и облучаемой поверхностью.

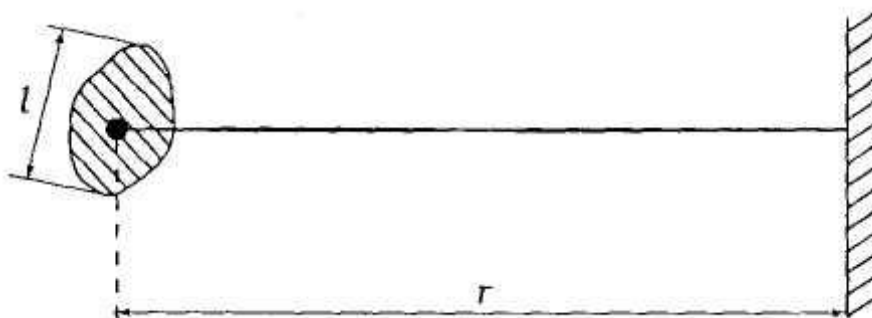


Рис. 3.1. Точечный источник излучения

К группе излучателей конечных размеров относят те излучатели, у которых относительные размеры по всем направлениям больше

размеров точечного излучателя. По мере удаления от исследуемой точки относительные размеры данного излучателя могут достигнуть значения, при котором этот излучатель можно будет принять за точечный.

### 3.3. Симметричные и несимметричные источники излучения

По характеру распределения силы излучения (света) точечные источники можно разделить на симметричные и несимметричные.

Такое деление обусловлено различной формой фотометрического тела. Под фотометрическим телом излучателя понимают распределение силы излучения (света) в пространстве.

Симметричные источники излучения имеют одинаковые значения потока излучения или светового потока по всем направлениям, составляющим одинаковые углы с осью симметрии излучателя. Симметричный излучатель представляет собой фотометрическое тело в виде тела вращения вокруг своей оси (рис. 3.2). Для такого источника все значения силы излучения (света) под любым углом  $\alpha$  к оси симметрии источника будут одинаковы.

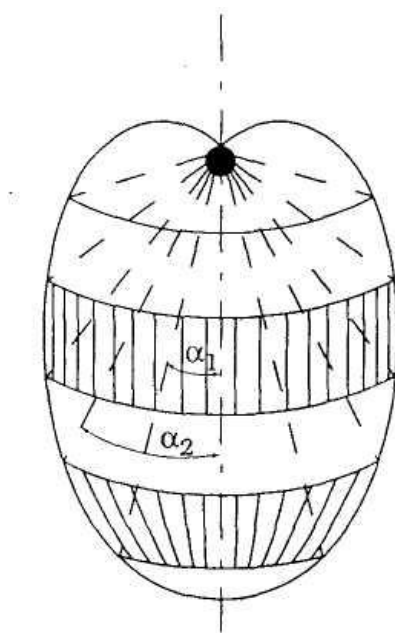


Рис. 3.2. Модель симметричного излучателя

Это позволяет пространственное распределение силы света выразить в виде графических кривых

$$I_{\alpha} = f(\alpha)$$

Такие кривые строят в полярной или прямоугольной системе координат для вертикального или горизонтального сечения фотометрического тела (рис. 3.3). Прямоугольную систему координат

применяют для источников с распределением потоков излучения в пределах небольшого угла, например у прожекторов.

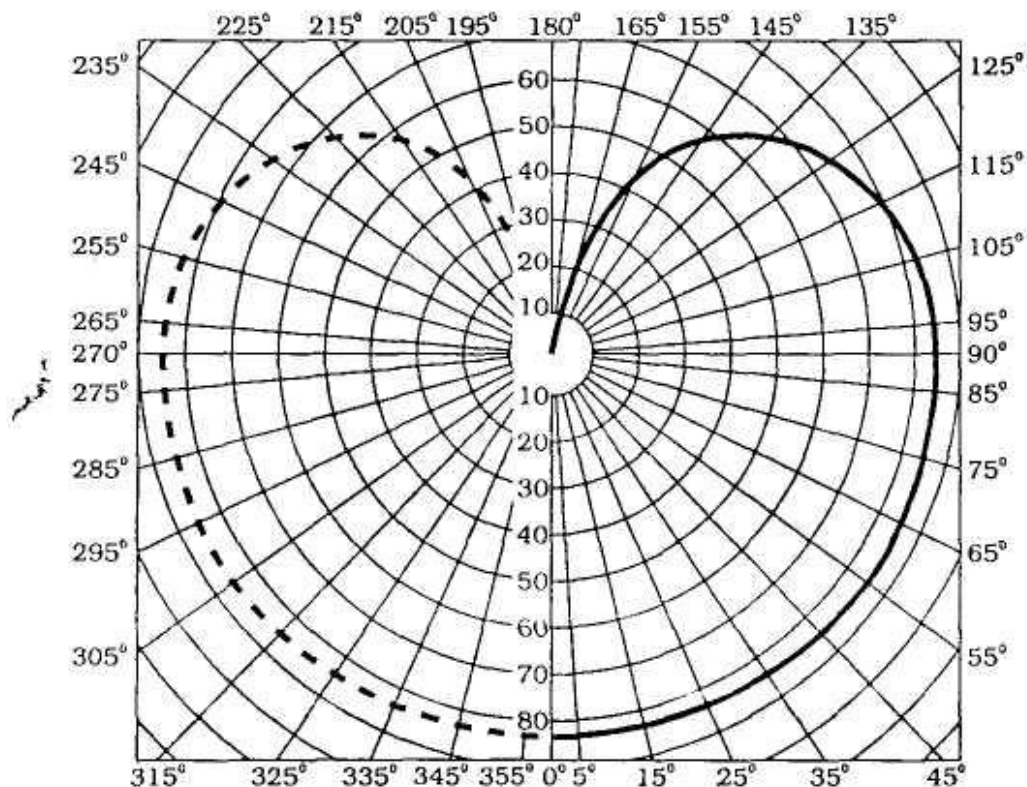


Рис. 3.3. Поперечная кривая распределения силы света симметричного источника

При сечении симметричного фотометрического тела вертикальной плоскостью по оси симметрии получают так называемую продольную кривую распределения силы света. Поскольку она симметрична, то ее строят обычно в пределах от 0 до 180°.

Сечение симметричного фотометрического тела горизонтальной плоскостью, проходящей перпендикулярно оси симметрии через центр источника, позволяет получить поперечную кривую распределения силы света (см. рис. 3.3).

Несимметричные излучатели не обладают симметрией распределения сил света относительно оси, вследствие чего их фотометрическое тело отличается от тела вращения и значения силы света неодинаковы для различных продольных плоскостей. В связи с этим строят семейство продольных кривых силы излучения, соответствующих различным направлениям в пространстве. Графическое распределение силы света в виде семейства кривых при  $\beta = \text{const}$  строят в полярной системе координат (рис. 3.4).

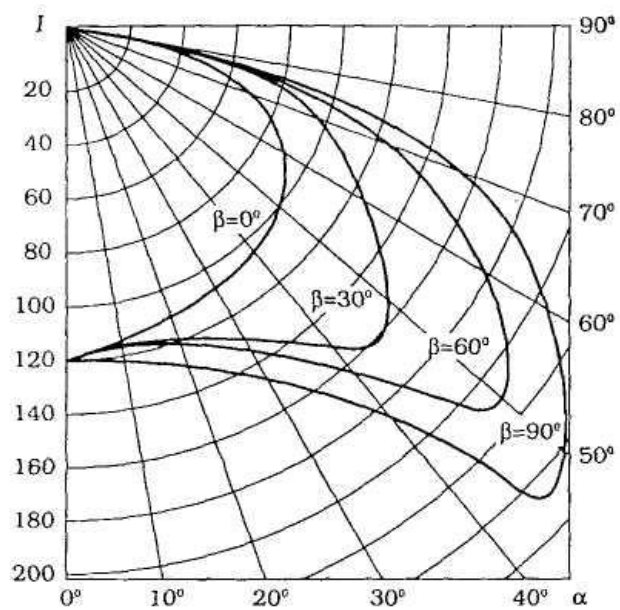


Рис. 3.4. Продольные кривые распределения силы света несимметричного источника



#### 4. ИСКУССТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ И ИСТОЧНИКИ СВЕТА

*Естественное освещение* создается природными источниками света – прямыми солнечными лучами и диффузионным светом небосвода (от солнечных лучей, рассеянных небосводом).

Естественное освещение подразделяют на: *боковое*, осуществляемое через световые проемы в наружных стенах; *верхнее*, осуществляемое через аэрационные и защитные фонари, проемы в перекрытиях; *комбинированное*, когда к верхнему освещению добавляют боковое. Характеризуется естественное освещение показателем КЕО (коэффициент естественной освещенности).

В зданиях с недостаточным естественным освещением применяют *совмещенное освещение* – освещение, при котором недостаточное по нормам естественное освещение дополняется искусственным.

*Искусственное освещение* (освещение электрическими источниками света) предназначено для освещения рабочих поверхностей при недостаточности естественного освещения и в темное время суток. Оно должно обеспечивать установленную санитарными нормами величину освещенности.

*Производственное освещение* – это система естественного и искусственного освещения, которая позволяет работающим нормально осуществлять определенный технологический процесс.

*Система искусственного освещения* – это группа светильников с размещенными в них электрическими источниками света, спроектированная по определенному принципу в зависимости от выполняемых задач. При размещении источников света над освещаемой площадью часто возникает необходимость одновременного выбора светильников по таким характеристикам как дальность действия, допустимая высота подвеса, единичная мощность источников света и т.п.

Системы искусственного освещения классифицируются по двум основным признакам:

- конструктивное исполнение;
- функциональное назначение.

По конструктивному исполнению различают две системы искусственного освещения:

- *общее* (равномерное или локализованное);
- *комбинированное* - совокупность общего освещения и местных светильников, расположенных непосредственно на рабочих местах.

В данную классификацию можно было бы включить *местное освещение* как отдельный вид конструктивного исполнения, однако, местное освещение должно использоваться только совместно с общим, иначе нарушаются требования безопасности.

*Общее равномерное* освещение обеспечивает равномерное распределение светового потока без учета расположения оборудования, а *общее локализованное* (неравномерное) – с учетом расположения рабочих мест (например, в сборочных цехах при технической невозможности оборудования местного освещения). Локализованное освещение также целесообразно с точки зрения энергосбережения, т.к. светильники можно сосредоточить над рабочими местами, проходами и проездами, а редко посещаемые места освещать по минимально допустимой норме.

По *функциональному назначению* искусственное освещение подразделяется на рабочее, аварийное, охранное и дежурное.

*Рабочее освещение* предназначено для обеспечения нормальных зрительных условий при выполнении работ, прохода людей и движения транспорта.

*Аварийное освещение* разделяется на *освещение безопасности*, применяемое для продолжения работы, и *эвакуационное* – для эвакуации из помещения, при аварийном отключении рабочего освещения.

*Дежурное освещение* – освещение помещений, а *охранное* – освещение охраняемых площадок предприятия в нерабочее время, совпадающее с темным временем суток.

*Сигнальное освещение* применяют для фиксации границ опасных зон; оно указывает на наличие опасности либо на безопасный путь эвакуации.

Условно к производственному освещению относят бактерицидное и эритемное облучение помещений.

*Бактерицидное облучение* (“освещение”) создается для обеззараживания воздуха, питьевой воды, продуктов питания.

*Эритемное облучение* создается в производственных помещениях, где недостаточно солнечного света (северные районы, подземные сооружения). Максимальное эритемное воздействие оказывают электромагнитные лучи с длиной волны 297 нм. Они стимулируют обмен веществ, кровообращение, дыхание и другие функции организма человека.

Также по своему характеру освещение можно разделить на светотеневое, светотональное, локальное и силуэтное.

Светотеневое – освещение, когда источник излучения формирует свет из тени, а рассеянный свет подсвечивает тени объекта.

Светотональное – освещение, когда рассеянный свет равномерно заполняет пространство и освещает все точки снимаемого объекта.

Локальное – освещение ограниченной части пространства или части снимаемого объекта.

Силуэтное – освещение, когда предметы на переднем плане затемнены, а свет падает на задний план.

#### 4.1. Лампы накаливания

Источником излучения в лампе накаливания является вольфрамовая нить (рис. 4.1), свитая в спираль и находящаяся в нейтральной атмосфере.

Условные обозначения ламп накаливания [3, 5]:

В – вакуумные;

Г – газонаполненные с моноспиральным телом накала;

Б – газонаполненные с биспиральным телом накала;

БК – лампы с повышенной светоотдачей с биспиральным телом накала, колба которых заполнена криптоном.

Спектральные характеристики таких ламп имеют значительные отступления от источника белого света: незначительное излучение в синей и фиолетовой частях спектра и избыток – в желтой и красной. Средняя продолжительность горения – 1000 ч.

В лампе накаливания используется эффект нагревания проводника (нити накаливания) при протекании через него электрического тока. Температура вольфрамовой нити накала резко возрастает после включения тока. Нить излучает электромагнитное излучение в соответствии с законом Планка. Функция Планка имеет максимум, положение которого на шкале длин волн зависит от температуры. Этот максимум сдвигается с повышением температуры в сторону меньших длин волн (закон смещения Вина). Для получения видимого излучения необходимо, чтобы температура была порядка нескольких тысяч градусов, в идеале 6000 К (температура поверхности Солнца). Чем меньше температура, тем меньше доля видимого света и тем более «красным» кажется излучение.



Рис. 4.1. Лампа накаливания

Для повышения КПД лампы и получения максимально «белого» света необходимо повышать температуру нити накала, которая, в свою очередь, ограничена свойствами материала нити – температурой плавления. Идеальная температура в 6000 К недостижима, т.к. при такой температуре любой материал плавится, разрушается и перестаёт проводить электрический ток. В современных лампах накаливания применяют материалы с максимальными температурами плавления – вольфрам (3410 °С) и, очень редко, осмий (3045 °С).

В обычном воздухе при таких температурах вольфрам мгновенно превратился бы в оксид. По этой причине вольфрамовая нить защищена стеклянной колбой, заполненной нейтральным газом. Первые лампочки делались с вакуумированными колбами. Однако в вакууме при высоких температурах вольфрам быстро испаряется, делая нить тоньше и затемняя стеклянную колбу при осаждении на ней. Позднее колбы стали заполнять химически нейтральными газами. Вакуумные колбы сейчас используют только для ламп малой мощности.

Современные лампы заполняются буферным газом. Это уменьшает скорость испарения материала нити. Возникающие при этом за счёт

теплопроводности потери тепла, уменьшают путём выбора газа по возможности с наиболее тяжелыми молекулами. Смеси азота с аргоном являются принятым компромиссом в смысле уменьшения себестоимости.

#### 4.2. Галогенные лампы

Добавление в буферный газ галогенов брома или йода повышает время жизни лампы (рис. 4.2) до 2000 – 4000 часов. При этом рабочая температура составляет примерно 3000 К. Эффективность галогенных ламп достигает 28 лм/Вт.

Йод (совместно с остаточным кислородом) вступает в химическое соединение с испарившимися атомами вольфрама.



Рис. 4.2. Галогенная лампа

Этот процесс является обратимым – при высоких температурах соединение распадается на составляющие вещества. Атомы вольфрама высвобождаются таким образом либо на самой спирали, либо вблизи неё.

Добавление галогенов предотвращает осаждение вольфрама на стекле при условии, что температура стекла более 250°C. По причине отсутствия почернения колбы, галогенные лампы можно изготавливать в очень компактном виде. Маленький объём колбы позволяет, с одной стороны, использовать большее рабочее давление (что опять же ведёт к уменьшению скорости испарения нити) и, с другой стороны, без существенного увеличения стоимости заполнять колбу тяжелыми

инертными газами, что ведёт к уменьшению потерь энергии за счёт теплопроводности. Всё это удлиняет время жизни галогенных ламп и повышает их эффективность. Галогенный цикл вольфрамово-галогенной лампы представлен на рис. 4.3.

Основным моментом в галогенном цикле является поддержание минимальной температуры стенки колбы на уровне  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что необходимо для того, чтобы галоид вольфрама оставался в газообразном состоянии и не осаждался на стенке колбы. Эта температура означает, что речь идет о колбах, сделанных из кварца, а не из стекла. Кварц позволяет уменьшить размер колбы.

Вследствие высокой температуры колбы любые загрязнения поверхности (например, отпечатки пальцев) быстро сгорают в процессе работы, оставляя почернения. Это ведёт к локальным повышениям температуры колбы, которые могут послужить причиной её разрушения. Поэтому колбы изготавливаются из кварца.

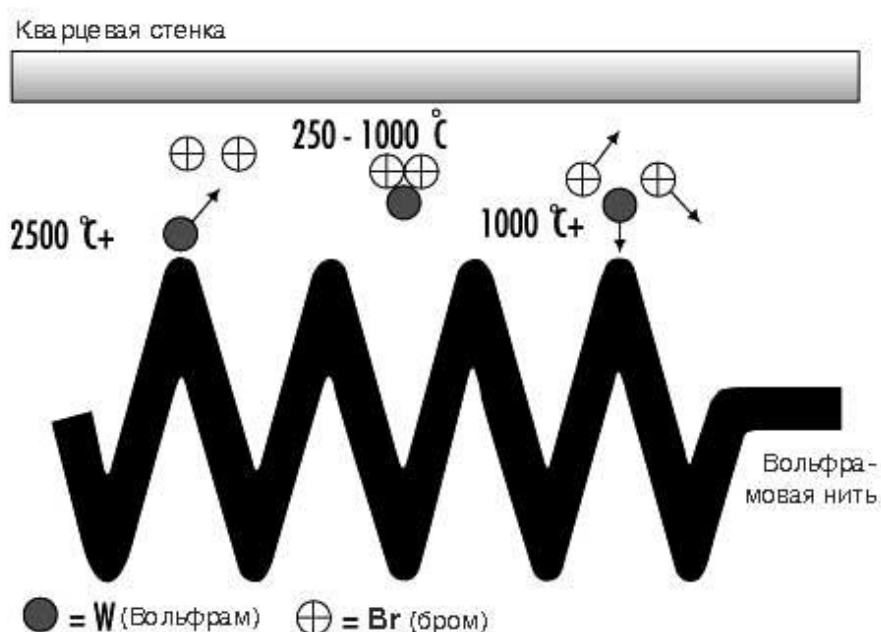


Рис. 4.3. Вольфрамово-галогеновый цикл

У большинства вольфрамово-галогенных ламп срок службы выше, чем у аналогичных ламп накаливания, и нить работает при более высокой температуре, давая больше света более белого цвета. Вольфрамово-галогенные лампы стали популярными там, где основными требованиями является малый размер и высокие эксплуатационные качества. Типичными примерами являются освещение сцены, где обычно требуется направленный свет и возможность управления его интенсивностью.

### 4.3. Газоразрядные источники излучения.

В газоразрядных источниках света излучения оптического диапазона спектра возникают в результате электрического разряда в атмосфере инертных газов, паров металла или их смесей.

Под термином газовый разряд понимают совокупность явлений, возникающих в газе при пропускании через него электрического тока.

Различают несколько видов электрического разряда (рис. 4.4), В источниках света в основном используют тлеющий (малые токи) и дуговой (большие токи) разряды.

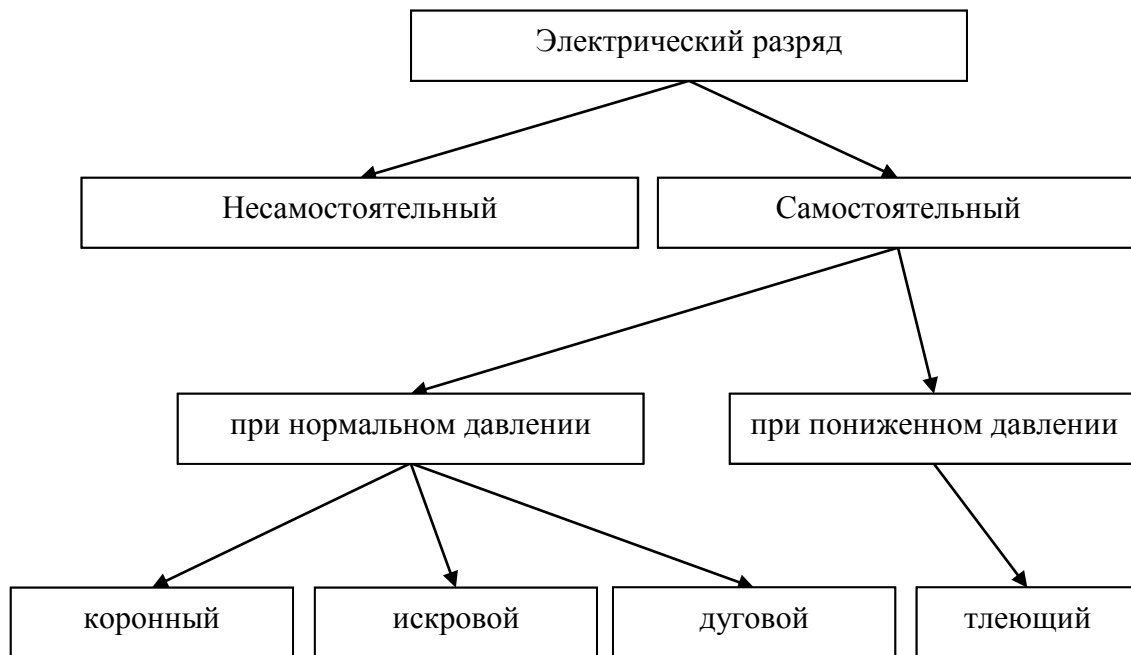


Рис.4.4. Виды электрического разряда

Характер и интенсивность излучения при газовом разряде зависит от давления в лампе.

При низком давлении излучение определяется переходами между энергетическими уровнями отдельных атомов и спектр носит линейчатый характер.

При повышении давления до 1 атм линии спектра расширяются, спектр становится полосатым.

Вольтамперная характеристика электрического разряда представлена на рис. 4.5.

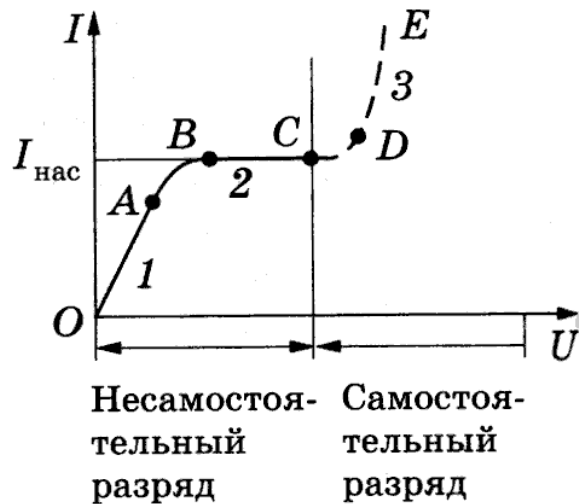


Рис. 4.5. ВАХ электрического разряда

При дальнейшем повышении давления спектр смещается в длинноволновую часть.

Преимущества газоразрядных ламп:

- более высокая отдача и срок службы;
- имеют значительно большую яркость, чем лампы накаливания;
- могут иметь линейчатый спектр с расположением линий в любой части оптического диапазона;
- появляется возможность создания коротких вспышек большой мощности.

Недостатки газоразрядных ламп:

- линейчатый спектр газоразрядных ламп не позволяет использовать их в качестве источника освещения;
- Газоразрядным лампам присуще явление пульсации светового потока и связанный с ней стробоскопический эффект, опасный для людей;
- Появляется необходимость применения балансового устройства;
- Напряжение зажигания газового разряда превышает рабочее напряжение лампы;
- Длительный период разжигания лампы.

Разрядные лампы низкого давления имеют разрядную колбу 1 в виде стеклянной трубки, на концах которой в цоколь 4 вмонтированы штыревые токоподводы 5 (рис. 4.6). В оба цоколя 4 лампы через стеклянные ножки 2 впаяны оксидированные электроды 3, выполненные в виде моноспирали из вольфрама.



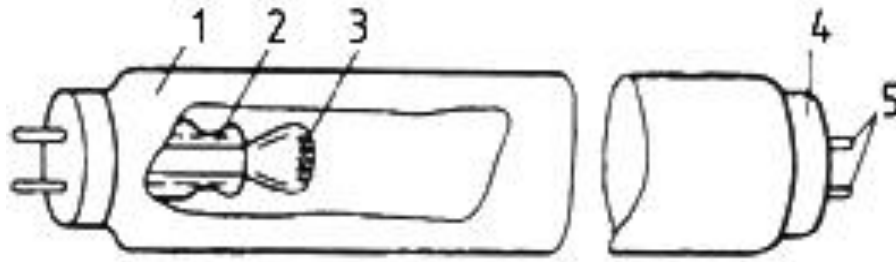


Рис. 4.6. Устройство трубчатой разрядной лампы низкого давления:  
1 – колба; 2 – стеклянная ножка; 3 – спиральный электрод; 4 – цоколь;  
5 – штыревые токоподводы

У осветительных ламп внутренняя часть колбы из обычного стекла, которое не пропускает УФ-излучение, покрыта слоем люминофора. У ламп для УФ-облучения колбы выполняют из специального кварцевого или увиолевого стекла, которое имеет высокий коэффициент пропускания УФ-излучения соответствующей зоны УФ-спектра. Внутренний объем колбы заполняют аргоном и вводят небольшое количество ртути. Электрический разряд в лампе начинается в атмосфере инертного газа аргона, а затем по мере испарения ртути продолжается в её парах.

#### 4.4. Люминесцентные источники излучения

Люминесценция – способность некоторых веществ излучать энергию, накопленную в пределах атома, при переходе электронов с более высших энергетических уровней на более низкие. Люминофор – вещество, в состав которого входят возбуждаемые атомы.

В зависимости от того, за счет какой энергии происходит возбуждения атома, различают следующие виды люминесценции:

1) фотолюминесценция – свечение под действием света видимого и ультрафиолетового диапазона:

а) флуоресценция; б) фосфоресценция.

2) хемилюминесценция – свечение, использующее энергию химических реакций.

3) катодолюминесценция – свечение, вызванное облучением быстрыми электронами (катодными лучами).

4) сонолюминесценция – свечение, вызванное звуком высокой частоты.

5) рентгенолюминесценция – свечение, возникающее под действием рентгеновских лучей.

б) радиолюминесценция – свечение, вызванное возбуждением вещества гамма-излучением.

7) триболюминесценция – свечение, возникающее при растирании, раскалывании или раздавливании люминофоров.

8) электролюминесценция – возникает при пропускании токов через особые типы люминофоров.

Дополнительными признаками, позволяющими отличить излучение люминесценции от других излучений, являются следующие:

- 1) селективность (определяется свойствами люминофора);
- 2) некогерентность (существует разброс фотонов по фазовым состояниям степени поляризации).

Люминесцентная лампа (рис. 4.7) выполнена в виде стеклянной трубки, в концы которой впаяны электроды. Разряд происходит в атмосфере аргона (400 Па) с примесью паров ртути. Внутренняя поверхность трубки покрыта тонким слоем люминофора, который, поглощая коротковолновое излучение, излучает сплошной спектр. Часть излучения газового разряда проходит через порошок люминофора. Световая отдача 45-90 лм/Вт.



Рис. 4.7. Люминесцентная лампа

Маркировка люминесцентных ламп низкого давления содержит буквенное обозначение, начинающееся с буквы Л (люминесцентная) и второй буквы, раскрывающей особенности ее спектра излучения: Б – белая, ТБ – тепло-белая, ХБ – холодно-белая, Д – дневная, Е – естественная, БЕ – белая естественная, ХЕ – холодная естественная. Ц – с повышенной цветопередачей, УФ – ультрафиолетовая, Ф – фотосинтезная, Р – рефлекторная, У – U – образная, К – кольцевая. После буквенного обозначения следуют цифры, указывающие мощность лампы в ваттах, и через дефис – номер разработки. Например, ЛБР-80 – лампа люминесцентная белая рефлекторная мощностью 80 Вт.

Следует заметить, что распространенные на сегодняшний день, «энергосберегающие лампы» являются по сути люминесцентными, с

различными сложными формами трубки, и электронным пуско-регулирующим аппаратом (ПРА), встроенным в лампу. Соответственно им присущи все достоинства и недостатки люминесцентных ламп (кроме пульсаций, устраняемых высокочастотным ПРА).

#### 4.5. Ртутные лампы высокого давления (ДРЛ)

Лампы ртутные дуговые типа ДРЛ (рис. 4.9) – газоразрядные ртутные лампы высокого давления, применяются для уличного освещения и освещения больших производственных площадей. Используются в сетях переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц. ДРЛ включаются через пускорегулирующие аппараты. В их конструкции используется дуговой разряд в атмосфере газов и паров ртути при высоком давлении (0,3-1,5 МПа). Энергетический баланс люминесцентной лампы приведен на рис. 4.8.

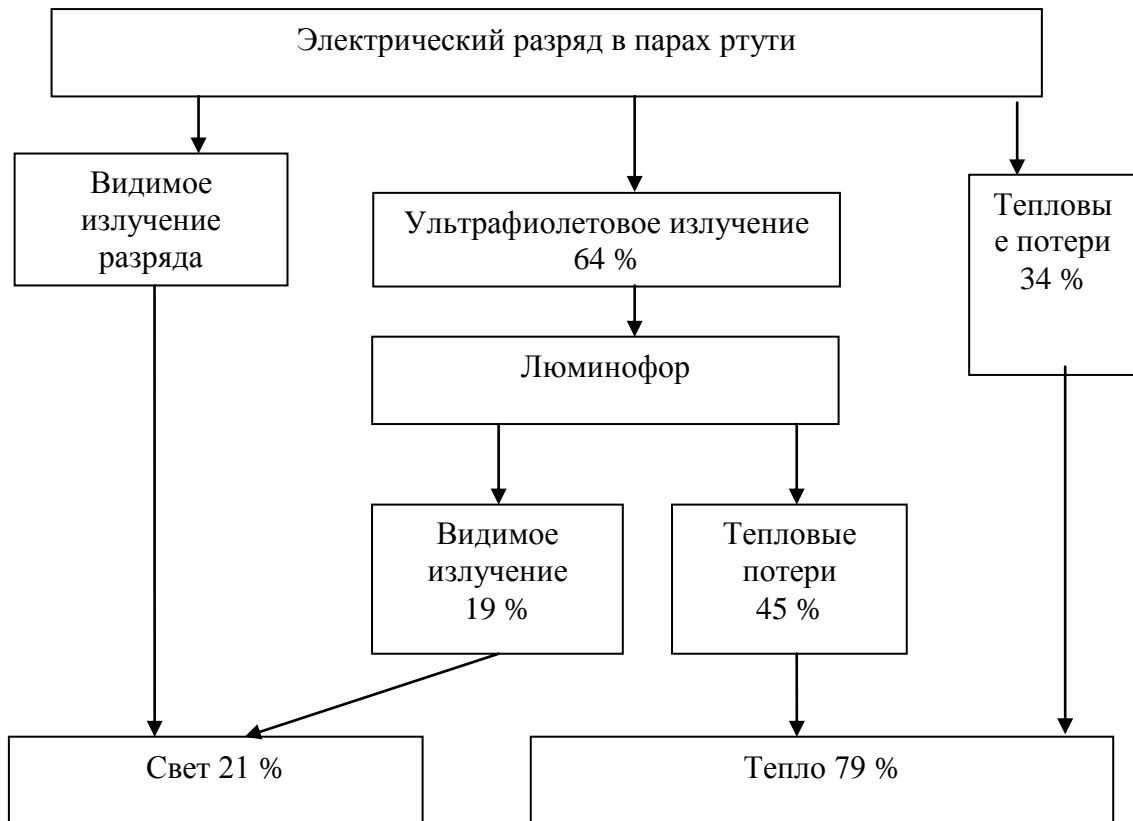


Рис. 4.8. Энергетический баланс люминесцентной лампы

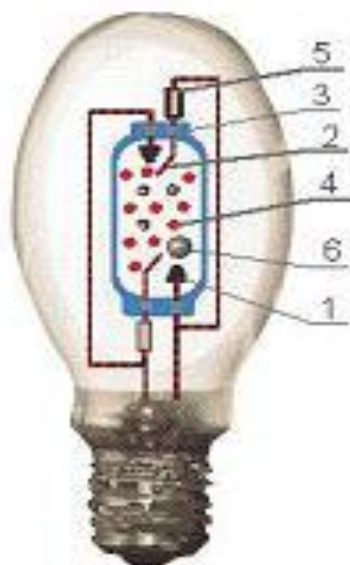


Рис. 4.9. Ртутные лампы высокого давления:

1 - основные электроды; 2 - поджигающие электроды; 3 - вводы электродов; 4 - буферный газ (аргон - служит для начальной ионизации и получения дугового разряда); 5 - позисторы (служат для ограничения тока тлеющего разряда на поджигающих электродах); 6 - ртуть (служит для изменения градиента потенциала в разряде).

Благодаря дополнительным электродам лампа не нуждается в зажигающем устройстве, включается в сеть с индуктивным ПРА и зажигается непосредственно от напряжения сети 220 В (рис.4.10).



Рис. 4.10. Схема подключения лампы ДРЛ

Разряд происходит во внутренней, заполненной аргоном колбе. Спектр излучения состоит из ультрафиолетового, синего и зеленого видимого спектра. Составляющие красной области спектра полностью отсутствуют. Слой люминофора на внутренней поверхности внешней колбы преобразует ультрафиолетовую составляющую в световое излучение красной части спектра.

Процесс разгорания ламп ДРЛ после включения длится около семи минут, исчезновение напряжения приводит к погасанию лампы. Горячую лампу зажечь невозможно, необходимо полное остывание лампы.

Преимущества ртутных ламп высокого давления:

- высокая световая отдача (до 65 лм/Вт);
- компактность, при высокой единичной мощности (до 1 кВт);
- способность работать при отрицательной температуре;
- длительный срок службы (до 20 тыс. часов).

Недостатки ртутных ламп высокого давления:

- низкая (неправильная) цветопередача
- пульсация светового потока
- критичность к колебаниям напряжения сети
- долгий процесс розжига.
- некоторая сложность монтажа и обслуживания.

#### 4.6. Металлогалогенные лампы

Принцип действия современных металлогалогенных ламп (МГЛ) (рис. 4.11) в основном тот же, что и для всех газоразрядных ламп: светящейся субстанцией здесь является плазма дугового электроразряда, а основными элементами, заполняющими газоразрядную трубку, являются ртуть (Hg) и аргон (Ar).



Рис. 4.11. Металлогалогенная лампа

Однако помимо данных компонентов в газовой среде МГЛ присутствуют галогениды тех или иных металлов, ионизированные

атомы которых при высокой температуре разряда создают оптическое излучение повышенной интенсивности.

Разумеется, это сокращает расходы на оплату электроэнергии и монтаж светильников, в которых используются металлогалогенные лампы, поскольку для того, чтобы обеспечить необходимый уровень освещенности, их требуется гораздо меньшее количество, да и сами по себе они гораздо экономнее прочих галогенных источников освещения. К безусловным плюсам, которые имеют металлогалогенные лампы, необходимо отнести также их малую теплоотдачу, длительность срока эксплуатации, хорошую цветопередачу. При этом, в зависимости от комбинации применяемых галогенидов и температуры разряда, можно добиться различных цветовых эффектов. Свечение может быть как ярко-белым, так и голубоватым или иметь множество других цветовых оттенков.

Благодаря высоким потребительским свойствам и универсальности металлогалогенные лампы используют в самых различных сферах жизнедеятельности. Они применяются как в профессиональном осветительном оборудовании большой мощности (прожекторы в аэропортах, на спортивных стадионах, морских маяках, театральные, теле- и киносъёмочные софиты, уличное освещение и т.д.), так и в декоративно-бытовых целях (точечные светильники для освещения витрин, производственных, торговых и жилых помещений, теплиц, аквариумов и т.д.)

Металлогалогенные лампы (например, ДРИ – дуговая ртутная с излучающими добавками) имеют следующие характеристики:

- улучшенная цветопередача и в 1,5-2 раза увеличенная по сравнению с ДРЛ световая отдача (до 100 лм/Вт);
- меньшая продолжительность горения (до 10 тыс. ч.).

#### 4.7. Натриевые лампы

Натриевая лампа – газоразрядный источник света, в котором излучение оптического диапазона возникает при электрическом разряде в парах Na. Натриевая лампа (рис. 4.12) низкого давления представляет собой заполненную парами Na и смесью инертных газов трубку из натриевостойкого стекла, в торцы которой впаяны электроды. Давление газов в трубке 1,3-2 кН/м<sup>2</sup> (10-15 мм рт. ст.). Мощность натриевых ламп 45-200 Вт, срок службы 5-7 тыс. ч, световая отдача до 180 лм/Вт. Из-за чисто-жёлтого света натриевые лампы не пригодны для общего освещения; их используют для освещения загородных автострад, декоративного освещения, наружного освещения.



Рис. 4.12. Натриевая лампа

Разрядная трубка натриевой лампы высокого давления изготавливается из светопропускающего поликристаллического оксида алюминия, устойчивой к воздействию электрического разряда в парах Na до температур выше  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Внутри разрядной трубки после удаления воздуха вводят дозированные количества Na, Hg и инертный газ при давлении  $2,6\text{--}6,5\text{ кН/м}^2$  (20–50 мм рт. ст.). Мощность натриевой лампы 125–1000 Вт, световая отдача около 140–180 лм/Вт, срок службы 10–20 тыс. ч. Все натриевые лампы включаются в электрическую сеть через пускорегулирующие аппараты. Для обеспечения наибольшего выхода резонансного излучения Na разрядные трубки натриевых ламп утепляют, помещая их внутри стеклянного баллона, из которого откачан воздух.

#### 4.8. Ксеноновые лампы

Ксеноновая газоразрядная лампа – газоразрядный источник света, в котором электрическая энергия преобразуется в световую при горении дугового разряда в атмосфере ксенона. Характерные особенности этих ламп: непрерывный спектр излучения, близкий к солнечному; возрастающая вольтамперная характеристика, упрощающая условия питания и регулирования ламп; большой диапазон яркости и мощности; возможность как естественного, так и принудительного (водяного) охлаждения.

Ксеноновая газоразрядная лампа представляет собой заполненную ксеноном кварцевую колбу с герметически встроенными электродами, между которыми горит электрическая дуга. Ксеноновые газоразрядные лампы подразделяют на трубчатые лампы высокого давления, в которых дуга стабилизируется стенками трубки, и шаровые лампы сверхвысокого давления со свободно горящей между электродами дугой. Мощность трубчатых ксеноновых газоразрядных ламп достигает 100 кВт, световая отдача равна 20–40 лм/Вт, давление газа около  $0,1\text{ МН/м}^2$  ( $1\text{ кгс/см}^2$ ), срок службы более 500 час. Лампы этого типа применяются для

освещения открытых пространств (городских площадей, ж.-д. станций), при выращивании растений и др. Яркость шаровых ксеноновых ламп соизмерима с яркостью Солнца, диапазон их мощностей колеблется от 0,1 до 30 кВт, световая отдача около 50 лм/Вт, давление газа 0,5-3 МН/м<sup>2</sup> (5-30 кгс/см<sup>2</sup>), долговечность 100-500 час.

Разновидность шаровых ксеноновых газоразрядных ламп - лампы в металлической оболочке со сферическим выходным окном, мощностью более 40 кВт. Шаровые ксеноновые лампы получили широкое распространение в прожекторной технике, кинотехнике, для имитации солнечного излучения, оптических печах и т. д. Основная тенденция совершенствования таких ламп – увеличение мощности, срока службы, надёжности.

Ксеноновые лампы имеют следующие характеристики:

- используют газовый разряд в ксеноне при высоком и сверх высоком давлении;
- имеют большую электрическую мощность (до 50 кВт), что в ряде случаев может потребовать водяного охлаждения;
- имеет непрерывный спектр излучения, близкий к солнечному (температура 6100-6300 К);
- световая отдача до 50 лм/Вт;
- продолжительность горения до 1350 час.

#### 4.9 Светодиоды

Светодиод или светоизлучающий диод (СИД) – полупроводниковый прибор, излучающий свет при пропускании через него электрического тока. Электрическая энергия преобразуется в энергию оптического излучения на основе явления инжекционной электролюминесценции, происходящей в полупроводниковом кристалле с электронно-дырочным переходом (р-п переход) или гетеропереходом либо в контакте металл-полупроводник. Излучаемый свет лежит в узком участке спектра, его цветовые характеристики зависят от химического состава использованного в СИД полупроводника.

При пропускании электрического тока в прямом направлении происходит инжекция электронов из полупроводника n-типа в область с р-проводимостью, где основными носителями заряда являются дырки. Инжектированные из р-п перехода неосновные носители заряда (электроны) рекомбинируют с основными (дырками) с излучением фотонов. Аналогично происходит инжекция дырок в область n-проводимости и излучение при их рекомбинации с электронами. Не всякие полупроводниковые материалы эффективно испускают свет при



рекомбинации. Хорошими излучателями являются, как правило, прямозонные полупроводники типа АІІІВV (например, GaAs или InP) и АІІВVI (например, ZnSe или CdTe). Варьируя состав полупроводников, можно создавать светодиоды для всевозможных длин волн от ультрафиолета (GaN) до среднего инфракрасного диапазона (PbS). В связи с развитостью кремниевой технологии активно ведутся работы по созданию светоизлучающих диодов на основе кремния.

Особенности светодиодных ламп:

- полосатый спектр, ширина полосы 20-50нм;
- излучение в диапазоне 360-950 нм;
- высокая световая отдача до 100 лм/Вт (красный) до 80 лм/Вт (зеленый);
- возможность получения любого оттенка света.

#### 4.10. Индукционные лампы (ИЛ)

Для производства источников света вынужденно применяются ртуть, свинец, кадмий, барий и другие элементы.

Экологическую обстановку можно существенно улучшить за счет увеличения срока службы источников света, содержащих вредные вещества.

Кроме того, обслуживание осветительных установок в некоторых случаях требует затрат, соизмеримых со стоимостью установленного оборудования (тоннели, здания с высокими потолками и т.п.).

Продление срока службы ламп является насущной задачей.

Главный фактор, влияющий на срок службы люминесцентных ламп – это состояние электродов. Возможны два направления продления срока службы ламп:

- усовершенствование электродов;
- полный отказ от электродов.

Максимальный срок службы можно получить только у безэлектродных ламп (индукционных, ИЛ).

Если в обычной люминесцентной лампе электрический ток создает столб разряда между разогретыми электродами, в индукционной (безэлектродной) газовый высокочастотный разряд создается электромагнитным полем.

Приоритетами в разработке и изготовлении ИЛ являются Нидерланды, Германия и США.

Существует пять видов безэлектродных ламп, из которых рассматривается только первый:

1) ртутные индукционные люминесцентные лампы. Наиболее освоены из них: QL фирмы «Philips» (Нидерланды), Endura фирмы Osram (Германия), Genura фирмы General Electric (США).

- 2) Микроволновые (СВЧ), серные;
- 3) Фосфоресцирующие;
- 4) Радиоактивного принципа действия;
- 5) Биоактивного принципа действия.

В основе работы индукционных ламп заложены три основных принципа:

– емкостной разряд (Е-разряд). Герметичная разрядная колба размещается между двумя металлическими пластинами (аналог конденсатора), на которые подается напряжение ВЧ. Характеризуется низкой эффективностью разряда и быстрым износом люминофора;

– разряд микроволновой плазмы (СВЧ-разряд). Применяется источник СВЧ (несколько ГГц). Характеризуется большими габаритами изделия и высокой стоимостью;

– индукционный разряд (И-разряд) (рис. 4.13). Индукционная катушка охватывает разрядную трубку или размещается внутри нее. Переменный магнитный поток катушки создает электрическое поле, поддерживающее плазму разряда. Этот принцип наиболее приемлем для разработки ИЛ осветительных установок.

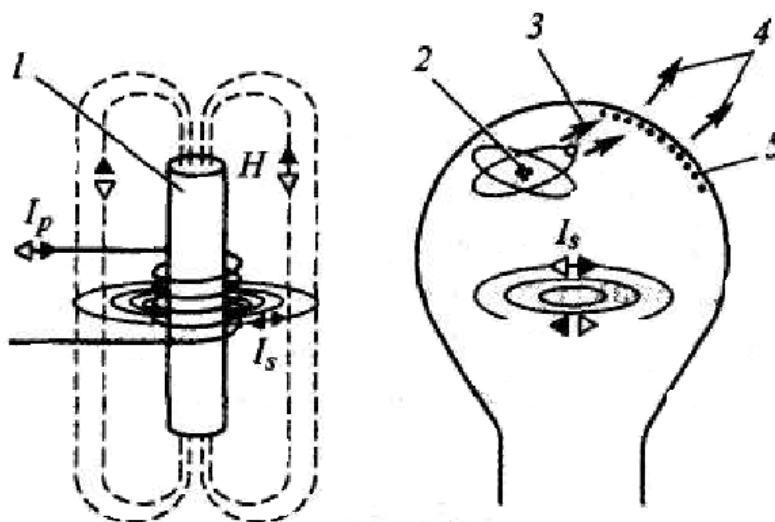


Рис. 4.13. К пониманию принципа действия ИЛ: 1 – ферритовый сердечник; 2 – атом ртути; 3 – УФ-излучение; 4 – видимый свет; 5 – люминофорное покрытие

Достоинства индукционных ламп:

- Разнообразие форм изготавливаемых ИС;
- Широкий диапазон светового потока;
- Отсутствие электродов;
- Очень большой срок службы;
- Независимость срока службы от числа циклов «включено-отключено»;
- Мгновенное зажигание;
- Отсутствие мерцания при работе.

Недостатки индукционных ламп:

- Большие размеры разрядной трубки;
- Ограниченный диапазон мощности;
- Относительно низкий световой поток ( $\Phi_{\max} = 12000$  лм);
- Чувствительность к температуре окружающей среды;
- Нестандартные характеристики ламп;
- Различное конструктивное исполнение у разных производителей;
- Высокая стоимость комплекта “лампа+ЭПРА”.

Представление о конструктивном исполнении современной безэлектродной индукционной лампы QL дает рис. 4.14.

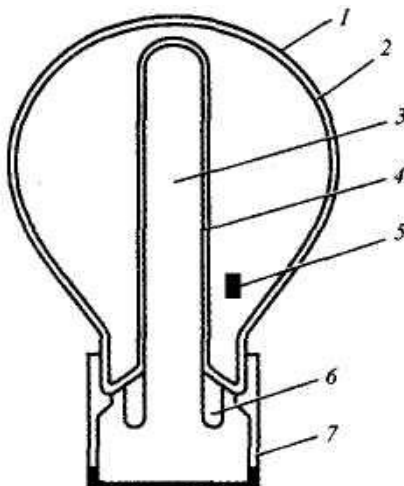


Рис. 4.14 Индукционная лампа Master QL: 1 – колба; 2 - слой люминофора; 3 - полость для индуктора; 4 – ножка; 5 - капсула с амальгамой на ножке; 6 – основная капсула; 7–цоколь

Основные элементы индукционной лампы:

- колба (1) для создания объемного газового разряда;

- слой люминофора (2), наносится на внутреннюю поверхность колбы, для преобразования невидимого ультрафиолетового излучения в видимое;
- полость индуктора (3), для размещения источника электромагнитного поля;
- ножка (4), граница полости ферритового сердечника;
- капсула с амальгамой (5) на ножке (вспомогательная);
- основная капсула с амальгамой (6), для создания условий выхода.

Для запуска лампы формируется зажигающий импульс с напряжением порядка 1300 В и длительностью 15 мс.

Условия для запуска создаются блоком ЭПРА, который может располагаться на расстоянии 60 см от ИС.

Индуктор (ферритовый сердечник с обмоткой) аналогичен первичной обмотке трансформатора, по которой идет ток  $I_p$ . Роль вторичной обмотки выполняет разряд в парах ртути низкого давления.

Создаваемое электромагнитное поле ( $I_s$ ) высокой частоты (ВЧ) индуктором обеспечивает газовый разряд в парах ртути. Возникает ультрафиолетовое излучение (УФИ), на которое воздействует люминофорное покрытие.

Изменение светового потока лампы ( $\Phi_{л}$ ) в процессе зажигания наглядно показано на рис. 4.15.

Применение двух разных по составу амальгам приводит к возникновению двух пиков в процессе прогрева лампы. Первый пик связан с испарением амальгамы из капсулы на ножке. Промежуточный пик связан с режимом прогрева стенок колбы. Второй пик связан с испарением амальгамы основной капсулы, укрепленной вблизи цоколя, после чего лампа выходит на рабочий режим.

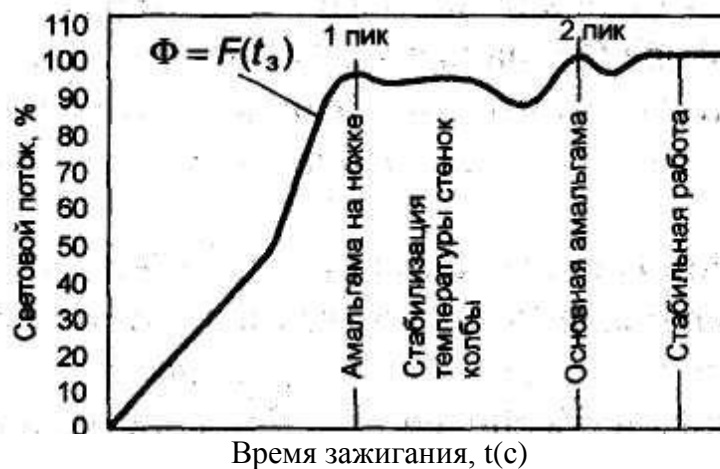


Рис. 4.15. Распределение светового потока

Применение амальгам двух видов (стартовой – легкоплавкой и рабочей) обеспечивает высокую устойчивость ИЛ к воздействию окружающей среды. Люминофорное покрытие преобразует УФИ в видимый свет.

Запуск лампы воспринимается мгновенным, однако период полной стабилизации рабочих характеристик – 50 минут.

Технические характеристики *индукционной лампы QL*:

- Диапазон рабочих температур зависит от ВЧ-генератора, так как высокая температура негативно влияет на работу полупроводниковых устройств;
- Допустимая рабочая температура для ВЧ-генератора в пределах от -25 до +82°C.
- Рабочая частота тока в индукторе (2,65 МГц) соответствует международным требованиям по электромагнитной совместимости;
- Спад светового потока после 10 000 часов работы не более 30%. Срок службы лампы определяется электронными аппаратами, с которыми она работает, а не разрядной колбой;
- По форме лампа близка к обычной лампе накаливания.

*Индукционная лампа Endura* (Германия – Osram)

Endura – это торговое название лампы (от англ. Duration – длительность, протяженность во времени).

Представление об устройстве и принципе действия такой лампы дает рис. 4.16.

Основные элементы:

- замкнутая трубка (1), свернутая в эллиптическое кольцо, с покрытой люминофором (3) внутренней поверхностью и амальгамой;
- катушки индуктивности (2), расположенные на ферритовых сердечниках (5) с противоположных сторон эллиптического кольца. Катушки индуктивности включаются параллельно. Таким образом, лампа работает, как вторичная обмотка трансформатора, имеющая всего один виток;
- ЭПРА (4) — электронный пуско - регулирующий аппарат.

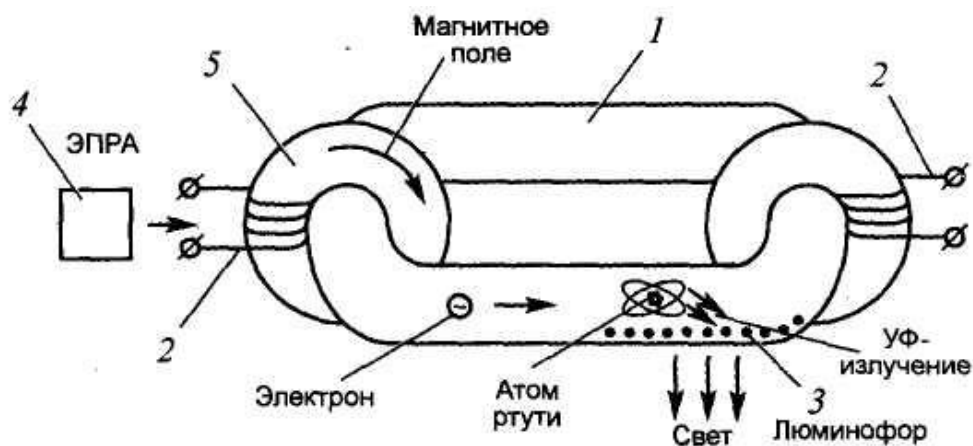


Рис. 4.16. Индукционная лампа Endura

Комплект ИЛ включает лампу и ЭПРА.

Принцип действия индукционной лампы:

- подключенный к сети СП с помощью ЭПРА преобразует частоту 50 Гц в рабочую частоту 250 кГц и подает на катушки индуктивности;
- катушки создают магнитное поле, энергия которого используется для разряда в трубке. Кроме того, индуцируется электрическое поле, необходимое для поддержания разряда в газе. Образуется УФ-излучение;
- УФ-излучение преобразуется люминофором в видимое (в свет).

*Индукционная лампа. Genura (США – General Electric)*

Предназначена для внутреннего и наружного применения. Зажигается при  $-10^{\circ}\text{C}$ . Имеет встроенный ЭПРА, винтовой цоколь E27, форму стандартной зеркальной ЛН с диаметром 80 мм. Производится в Венгрии.

Основное назначение – замена обычных и галогенных ЛН.

Представление об устройстве и внешнем виде дает рис. 4.17.

Основные элементы:

- пластиковый корпус для размещения деталей лампы и электронного блока;
- колба с люминофорным покрытием для создания разрядного объема и преобразования УФИ в свет;
- индукционная катушка, для создания электромагнитного поля и поддержания плазмы.

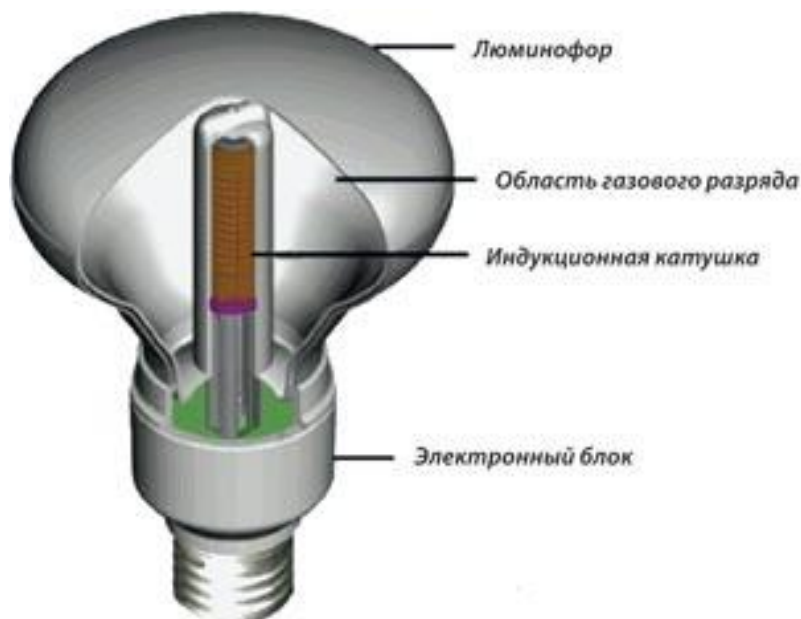


Рис. 4.17. Конструкция индукционной лампы Genura

Принцип действия индукционной лампы:

- при включении ИС в сеть встроенный ВЧ-генератор преобразует энергию сетевой частоты 50 Гц в энергию частоты 2,65 МГц;
- ток ВЧ, проходящий по индукционной катушке, генерирует высоко - частотное магнитное поле, вызывающее ионизацию атомов ртути, которые излучают УФИ;
- переменный магнитный поток, создаваемый катушкой, генерирует вихревое электрическое поле, которое поддерживает плазму;
- УФИ преобразуется люминофором в видимый свет.

Технические характеристики:

- стоимость ИЛ выше, чем зеркальной ЛН, но эксплуатационные расходы меньше (трудоемкость и энергопотребление ниже), окупаемость затрат – за 3 года эксплуатации;
- наличие амальгамы обеспечивает оптическую светоотдачу в широком диапазоне температур окружающей среды;
- световой поток после 15 000 часов работы снижается менее чем на 30%;
- КСС подобна КСС ЛН.

## 5. РАСЧЕТ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Основные требования, предъявляемые к осветительным установкам, заключаются в следующем [4]:

- 1) обеспечение равномерности распределения освещенности на рабочей поверхности, постоянства освещенности во времени и отсутствия в поле зрения слепящих яркостей (других светильников);
- 2) отсутствие теней на рабочей поверхности (правильный выбор направления светового потока, использование светильников рассеянного или отраженного светораспределения);
- 3) обеспечение спектрального состава излучения (цветопередачи).

Расчетам предшествует ряд подготовительных этапов [4]:

1. Определение нормируемых характеристик и параметров: установление нормативов, анализ габаритно-планировочных параметров объекта расчета с выявлением расположения рабочих поверхностей и точек пространства, для которых соответственно приняты нормативы; выявление объектов, могущих оказать затеняющее действие; анализ оптических характеристик ограждающих поверхностей; выявление направления отражающих поверхностей для соблюдения мер ограничения отраженной блескости; установление режима использования электрического освещения как фактора, влияющего на выбор источника света; определение требований к спектральным характеристикам источника света.

2. Оценка действия многократных отражений: определение коэффициента отражения отражающих поверхностей и оценка их роли в перераспределении светового потока светильников; выявление отражающих характеристик локально расположенных у рабочих мест поверхностей; оценка влияния оконных проемов или других мало отражающих поверхностей на перераспределение светового потока.

3. Оценка потерь светового потока: установление категориальности среды в зоне возможного размещения осветительных приборов и в пространстве полезного распространения их светового потока; определение допустимых для применения в данной установке осветительных приборов в соответствии с их характеристиками; определение расчетного значения коэффициента запаса.

4. Выбор схемы размещения светильников и способов расчета: оценка возможности подбора типовых решений; выбор типа источника света; подбор вариантов для сравнения; выбор способа расчета необходимой мощности и числа ламп.

Следует заметить, что расчет естественного освещения не рассматривается, т.к. относится к общестроительным вопросам.

### 5.1. Нормативные характеристики

Значение нормируемой освещенности выбирается в зависимости от характера зрительной работы, размеров объекта различения, фона и



контраста объекта с фоном, вида и системы освещения, типа источника света. Нормы освещенности приведены в СНиП 23-05-95. При использовании табл. 5.1 следует учитывать требования [2, п. 7.5 и 7.6], а также рекомендации [2, прил. Е, Ж, И]. В табл. 5.1 указаны нормативы для производственных помещений, для общественных зданий существует отдельная таблица [2, табл. 2].

Освещенность при использовании ламп накаливания следует снижать по шкале освещенности: а) на одну ступень при системе комбинированного освещения, если нормируемая освещенность составляет 750 лк и более; б) то же общего освещения для разрядов I–V, VII; в) на две ступени при системе общего освещения для разрядов VI и VIII.

В ряде отраслевых документов приведены нормы освещенности для различных производств, операций, видов деятельности. Данные нормы получены на основе СНиП 23-05-95 [2] с учетом особенностей конкретных производств. При наличии таких норм следует преимущественно пользоваться ими. Например, согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [3] освещенность рабочей поверхности при работе с ЭВМ должна составлять 300–500 лк. В [2, прил. И] для аудиторий, учебных кабинетов, лабораторий в техникумах и высших учебных заведениях рекомендуется значение освещенности 400 лк на рабочих столах и партах от общего освещения; для кабинетов информатики и вычислительной техники – 400 лк на горизонтальной плоскости от общего освещения и 200 лк на экране дисплея. При системе комбинированного освещения рекомендуется 500 лк суммарной освещенности, из которых 300 лк – от системы общего освещения.

## 5.2. Коэффициент запаса

При эксплуатации осветительной установки освещенность на рабочих местах уменьшается. Основные причины снижения освещенности – уменьшение светового потока источников света в процессе горения и загрязнение источников света, осветительной арматуры, стен и потолка освещаемого помещения. Уменьшение освещенности в расчетах учитывают коэффициентом запаса  $K_c$ , значение которого определяют по [2, табл. 3] в зависимости от наличия пыли, дыма и копоти в рабочей зоне помещения, от конструкции светильников, типа источников света и периодичности чисток светильников.

Примерные значения  $K_c$  для производственных помещений с воздушной средой, содержащей в рабочей зоне свыше 5 мг/м<sup>3</sup> пыли,

дыма, копоти –  $K_{\zeta}=1,5-2,0$ ; от 1 до 5 мг/м<sup>3</sup> пыли, дыма, копоти (металлургические производства) –  $K_{\zeta}=1,4-1,8$ ; менее 1 мг/м<sup>3</sup> пыли, дыма, копоти (большинство производственных помещений) –  $K_{\zeta}=1,3-1,5$ . Для пыльных, жарких, сырых помещений общественных и жилых зданий принимается  $K_{\zeta}=1,6-1,7$ ; для помещений с нормальными условиями среды (учебные помещения, лаборатории и проч.)  $K_{\zeta}=1,2-1,4$ . Приведенные значения коэффициента запаса соответствуют применению газоразрядных ламп. При использовании ламп накаливания их следует умножать на 0,85 [2].

### 5.3. Выбор осветительных приборов

Светильники выбирают:

- 1) по назначению;
- 2) виду источника;
- 3) условиям среды;
- 4) характеру светораспределения;
- 5) по ограничению слепящего действия;
- 6) экономической целесообразности;
- 7) эксплуатационной группе (способу монтажа)[4].

По преобладающему направлению светового потока в нижнюю полусферу  $\Phi_i$  в долях от полного потока  $\Phi_i$  приняты пять классов светильников (табл. 5.2) [3].

По форме кривых силы света (КСС) светильники подразделяются на семь типов (табл. 5.3) [3]. Графические изображения указанных типов КСС представлены на рис. 5.1.

Таблица .5.1

## Нормативы естественной и искусственной освещенности [12]

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение					Естественное освещение		Совместное освещение									
						Освещенность, лк			Сочетание показателя ослепленности и коэффициент пульсации	KEO, ен, %												
						при системе комбинированного освещения		при системе общего освещения		При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении									
						Всего	в т.ч. от общего							P	K <sub>тп</sub> , %							
Наивысшей точности	< 0,15	I	a	Малый	Темный	5000 4500	500 500	– –	20 10	10 10	–	–	6,0	2,0								
			б	Малый Средний	Средний Темный	4000 3500	400 400	1250 1000	20 10	10 10												
			в	Малый Средний	Светлый Средний	2500 2500	300 300	750 750	20 20	10 10												
				Большой Темный	2000 2000	200 200	600 600	10 10	10 10													
			г	Средний Большой	Светлый Светлый	1500 1500	200 200	400 400	20 20	10 10												
				Большой Средний	1250 1250	200 200	300 300	10 10	10 10													
				Очень высокой точности	от 0,15 до 0,30	II	a	Малый	Темный	4000 3500					400 400	– –	20 10	10 10	–	–	4,2	1,5

Продолжение табл. 5.1

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение					Естественное освещение	Совместное освещение		
						Освещенность, лк			Сочетание показателя ослепленности и коэффициент пульсации	КЕО, еп, %				
						При системе комбинированного освещения		При системе общего освещения		При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	
														Всего
Высокой точности	от 0,30 до 0,50	III	а	Малый	Темный	2000 1500	200 200	500 400	40 20	15 15	—	—	3,0	1,2
			б	Малый Средний	Средний Темный	1000 750	200 200	300 200	40 20	15 15				
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	750 750 600	200 200 200	300 300 200	40 40 20	15 15 15				
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	400	200	200	40	15				
Средней точности	от 0,50 до 1	IV	а	Малый	Темный	750	200	300	40	20	4	1,5	2,4	0,9
			б	Малый Средний	Средний Темный	500	200	200	40	20				
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	400	200	200	40	20				
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	—	—	200	40	20				

Окончание табл. 5.1

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение					Естественное освещение		Совместное освещение	
						Освещенность, лк			Сочетание показателя ослепленности и коэффициентом пульсации	КЕО, ен, %				
						При системе комбинированного освещения		При системе общего освещения		При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	
														Всего
Малой точности	От 1 до 5	V	а	Малый	Темный	400	200	300	40	20	3	1	1,8	0,6
			б	Малый Средний	Средний Темный	–	–	200	40	20				
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	–	–	200	40	20				
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	–	–	200	40	20				
Грубая (очень малой точности)	> 5	VI	-	независимо от фона и контраста		–	–	200	40	20	3	1	1,8	0,6
Работа со светящимися материалами и изд. в горячих цехах	>0,5	VII	-	независимо от фона и контраста		–	–	200	40	20	3	1	1,8	0,6
Общее наблюдение за ходом произв. процесса: постоянное		VIII	а	то же		–	–	200	40	20	3	1	1,8	0,6
Периодическое, при постоянном пребывании людей в помещении			б	то же		–	–	75	–	–	1	0,3	0,7	0,2
Периодическое, при периодическом Пребывании людей в помещении			в	то же		–	–	50	–	–	0,7	0,2	0,5	0,2
Общее наблюдение за инженерными коммуникациями			г	то же		–	–	20	–	–	0,3	0,1	0,2	0,1

Таблица 5.2

## Классы светильников

Обозначение класса	Наименование класса светильника	Отношение световых потоков $\Phi_i / \Phi_i$ , %
П	Прямого света	> 80
Н	Преимущественно прямого света	60–80
Р	Рассеянного света	40–60
В	Преимущественно отраженного света	20–40
О	Отраженного света	< 20

Таблица 5.3

## Кривые силы света светильников

Тип КСС	Наименование КСС	Зоны направления максимальной силы света, градусы		Зона, в которой $\Phi_i > 0,9 \cdot \Phi_i$
		Вниз	Вверх	
К	Концентрированная	0–15	–	0–30
Г	Глубокая	0–30	180–150	0–50
Д	Косинусная	0–35	180–145	0–85
Л	Полуширокая	35–55	145–125	15–85
Ш	Широкая	55–85	125–95	25–85
М	Равномерная	0–90	180–90	0–180
С	Синусная	70–90	110–90	15–165

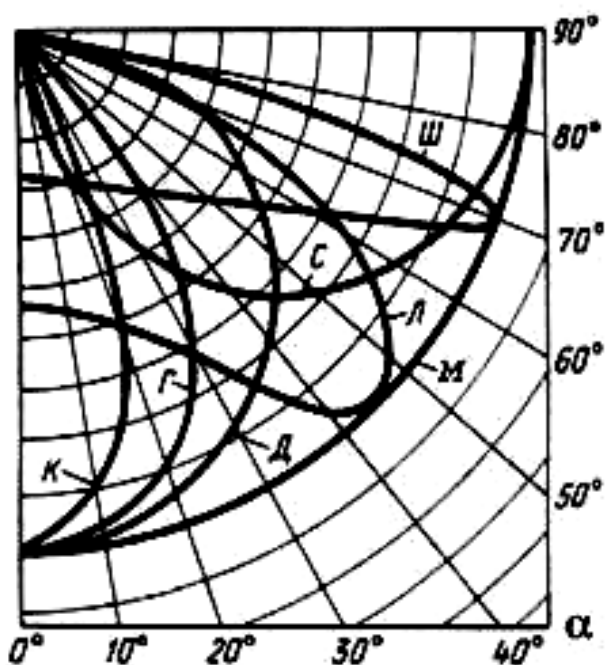


Рис. 5.1. Типы стандартизованных КСС:

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

По степени защиты от пыли светильники делятся на шесть классов [3]: незащищенные (открытые 2, перекрытые 2'), пылезащищенные (полностью 5, частично 5'), пыленепроницаемые (полностью 6, частично 6'). По степени защиты от влаги светильники бывают 7 классов: незащищенные (0); каплезащищенные (2); дождезащищенные (3); брызгозащищенные (4); струезащищенные (5); водонепроницаемые (7) герметичные (8).

По степени защиты от взрыва светильники различают [3] взрывобезопасные (В) и повышенной надежности против взрыва (Н). Степень защиты от взрыва обеспечивается герметизацией токопроводящих контактных элементов и источника света от окружающей среды и ограничением предельной температуры наружных частей.

Светораспределение потока и форма кривой силы света (КСС) являются основными показателями качества освещения и энергетической экономичности установки. Для освещения помещений, стены и потолок которых имеют невысокие отражающие свойства, целесообразно использовать светильники прямого света (П), при высоких отражающих свойствах стен и потолков – светильники преимущественно прямого света (Н). Для таких типов помещений используются светильники с типовыми КСС К, Г или Д. Для административных, общественных и жилых помещений часто используются светильники рассеянного, преимущественно отраженного или отраженного светораспределения с типовыми КСС Д, М, Л или Ш. Для высоких помещений с точки зрения минимальной установленной мощности источников света наиболее выгодны светильники с типом КСС К, а по мере уменьшения высоты – КСС типа Г и Д, но применение светильников с такими типами КСС приводит к уменьшению расстояния между ними и к увеличению капитальных затрат.

Учитывая, что газоразрядные лампы (ГЛ) имеют более высокую световую отдачу и больший срок службы, рекомендуется использовать эти источники для общего освещения производственных помещений, и только в тех случаях, когда это невозможно или нецелесообразно, допускается использовать лампы накаливания (ЛН) [2]. ЛН рекомендуется использовать для освещения вспомогательных помещений (коридоры, лестницы, санузлы и др.), а также складских помещений. Следует принимать во внимание, что расход электрической энергии ГЛ по сравнению с ЛН меньше на 40–70 %.

Учитывая благоприятный спектр излучения, высокую световую отдачу и срок службы, люминесцентные лампы следует использовать в помещениях с напряженной зрительной работой, при недостатке или полном отсутствии естественного излучения, в общественных и

административных зданиях, в сельском хозяйстве. В производственных условиях при отсутствии повышенных требований к правильной цветопередаче, а также для наружного освещения целесообразно применять лампы высокого давления ДРЛ, ДНаТ, ДРИ.

В [3] рекомендуется при освещенности внутри помещения до 50 лк в качестве источников света использовать лампы накаливания (во избежание сумеречного эффекта), а свыше 50 лк – люминесцентные. Следует учитывать также рекомендации [2, прил. Е, Ж, И] по выбору источников света.

По ГОСТ 17677-82 каждому виду светильников присваивается свой шифр, который состоит из трех букв и трех групп цифр:

$$a \ b \ c \ 1 \ 2 - 3 \times 4 - 5 - 6,$$

где **a** – тип используемого источника света: Н – лампы накаливания; С – лампы-светильники (зеркальные, диффузные); И – кварцевые галогенные (накаливания); Л – прямые трубчатые люминесцентные; Ф – фигурные люминесцентные; Р – ртутные типа ДРЛ; Г – ртутные типа ДРИ;

Ж – натриевые типа ДНаТ; К – ксеноновые трубчатые;

**b** – способ установки светильника: С – подвесные; П – потолочные; В – встраиваемые; Д – пристраиваемые; Б – настенные; Н – настольные, опорные; Т – напольные, венчающие; К – консольные, торцевые;

**c** – назначение светильника: П – для промышленных и производственных зданий; О – для общественных зданий; Б – для жилых домов; У – наружные; Р – для рудников и шахт;

**1, 2** – номер серии светильников (двузначное число);

**3** – число ламп в светильнике (указывается, если их больше 1);

**4** – мощность лампы;

**5** – трехзначное число (001–999), означающее номер модификации.

Расшифровка цифр номера модификации:

первая цифра – степень защиты от окружающей среды;

вторая цифра – не имеет обозначения;

третья цифра – тип кривой силы света, например: 2 – косинусная (Д),

3 – полуширокая (Л), 4 – глубокая (Г), 5 – концентрированная (К);

**6** – климатическое исполнение и категория размещения светильников.

Например, для производственных помещений часто используются светильники типов ЖСП, РСП, ГСП, ЛСП различных модификаций. Достаточно широко используются светильники для ламп накаливания типов НСП, НПП, ГС, ГсУ, Гэ, НПО различных модификаций.



В помещениях с химически активной средой рекомендуется использовать светильники с корпусами из пластмассы и фарфора с отражателями, покрытыми силикатной эмалью, или светильники, специально предназначенные для этих условий. В пыльных помещениях целесообразно использовать амальгамные люминесцентные лампы, а также лампы меньшей мощности [3].

Защитный угол  $\gamma$  светильника (рис. 5.2), как и его светопропускающий элемент, также имеет важное значение для ограничения слепящего действия источника света. Круглосимметричные светильники характеризуются одним значением угла  $\gamma$ . Светильники с трубчатыми люминесцентными светильниками характеризуются двумя значениями защитного угла  $\gamma$ : в поперечной и продольной плоскостях. Для обеспечения равенства указанных защитных углов в таких светильниках устанавливаются затеняющие продольные и поперечные планки, образующие затеняющую решетку.

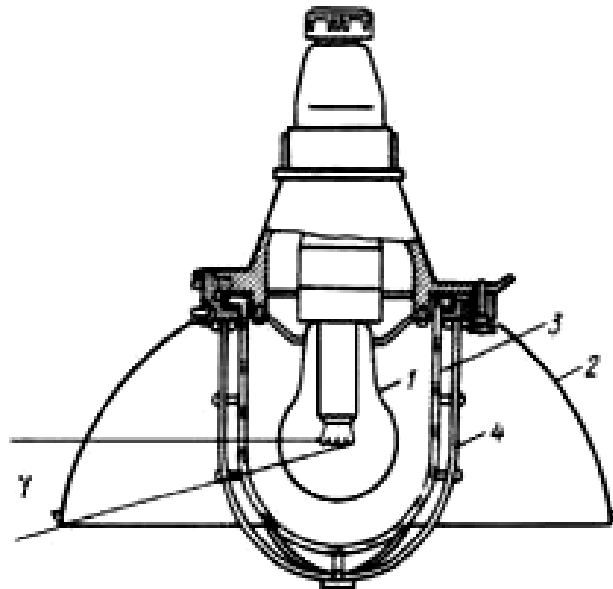


Рис. 5.2. Конструкция светильника:

1 – лампа; 2 – отражатель; 3 – светопропускающий элемент; 4 – защитная сетка

Ограничение ослепленности, создаваемой светильниками, также достигается соответствующей высотой их подвеса. Высота подвеса зависит от типа светильника, значения его защитного угла  $\gamma$  и мощности применяемой лампы. Как правило, допустимая высота подвеса указывается производителем.

Если светильник с лампой накаливания имеет защитный угол  $\gamma \leq 10^\circ$ , то такие светильники без светопропускающего элемента в виде рассеивателя не применяются. Светильники с лампами накаливания мощностью до 60 Вт, у которых колба лампы из матированного стекла

или матированный светопропускающий элемент, не имеют ограничений по высоте подвеса. Высота подвеса светильников с лампами типа ДРЛ должна быть не менее 6 м при мощности лампы 400 Вт и более и не менее 4 м при мощности лампы менее 400 Вт.

#### 5.4. Размещение осветительных приборов

Первой задачей размещения светильников является определение расчетной высоты подвеса  $H_D$ :

$$H_D = H - h_n - h_o,$$

где  $H$  – высота помещения, м;  $h_n$  – расстояние светильников от перекрытия (фермы), как правило, принимается в пределах 0–1,5 м;  $h_o$  – высота рабочей поверхности над полом, м.

По соображениям безопасности высота установки светильников над полом, за исключением светильников с люминесцентными лампами, должна, как правило, быть более 2,5 м.

Второй задачей размещения светильников является обеспечение требуемой равномерности освещения при наименьшем световом потоке источника.

Существует два вида размещения светильников: равномерное и локализованное. При локализованном способе размещения светильников выбор их места расположения решается в каждом случае индивидуально и зависит от технологического процесса и плана размещения освещаемых объектов. Далее будем рассматривать равномерное освещение.

Для обеспечения равномерности освещения светильники обычно размещают по вершинам квадрата или ромба. Оптимальное расстояние между светильниками определяется по формуле [4]

$$\lambda_n \cdot H_D \leq L \leq \lambda_y \cdot H_D,$$

где  $\lambda_n$ ,  $\lambda_y$  – относительные светотехнические и энергетические наивыгоднейшие расстояния между светильниками. Численные значения  $\lambda_n$  и  $\lambda_y$  зависят от типа кривой силы света и определяются по табл. 5.4.

Таблица 5.4

Относительные наивыгоднейшие расстояния между светильниками, м

Типовая кривая	$\lambda_{\bar{n}}$	$\lambda_{\bar{y}}$
Концентрированная (К)	0,4–0,7	0,6–0,9
Глубокая (Г)	0,8–1,2	1,0–1,4
Косинусная (Д)	1,2–1,6	1,6–2,1
Полуширокая (Л)	1,4–2,0	1,8–2,3
Равномерная (М)	1,8–2,6	2,6–3,4

При невозможности размещения светильников по вершинам квадрата или ромба их размещают по вершинам прямоугольника [4].

При равномерном размещении светильников с точечными излучателями (лампами накаливания, газоразрядными лампами высокого давления) по углам прямоугольника рекомендуется, чтобы  $L_A / L_B \leq 1,5$  (индекс  $A$  соответствует большей стороне прямоугольника, а индекс  $B$  – меньшей). Расстояние от стены до ближайшего ряда светильников  $l_B$  или до ближайшего светильника в ряду  $l_A$  принимают в пределах  $(0,3 \dots 0,5)L_{A,B}$ , но при наличии рабочих поверхностей у стен возможны и меньшие значения, а также размещение светильников на стенах.

Тогда по известным  $l_{A,B}$  и  $L_{A,B}$ , длине  $A$  и ширине  $B$  помещения можно определить число рядов светильников:

$$N_2 = \frac{B - 2 \cdot l_B}{L_B} + 1,$$

а также число светильников в одном ряду

$$N_1 = \frac{A - 2 \cdot l_A}{L_A} + 1$$

и общее число светильников в помещении  $N_{\Sigma} = N_1 \cdot N_2$ .

Если  $L_{A,B}$  определялись с учетом светотехнического наивыгоднейшего относительного расстояния  $\lambda_{\bar{n}}$ , то  $N_1$  и  $N_2$  округляют в сторону наименьшего значения, если же  $\lambda_{\bar{y}}$ , то  $N_1$  и  $N_2$  округляют в сторону наибольшего значения. При определении расстояния между светильниками с газоразрядными лампами  $\lambda_{\bar{y}}$  допускается не учитывать.

Значение  $N_{\Sigma}$  получено только из соображений равномерности освещения и при необходимости может корректироваться по результатам светотехнического расчета.

Светильники с линейными излучателями (люминесцентными лампами) обычно располагают рядами параллельно длинной стороне помещения или стене с окнами. В зависимости от уровня нормированной освещенности и возможности размещения светильники располагают непрерывными рядами или рядами с разрывами. Нежелательно размещать светильники в один ряд, это допускается только для узких помещений [3].

При размещении светильников с люминесцентными лампами по тем же формулам определяют расчетную высоту  $H_B$ , расстояние между рядами светильников  $L_B$ , расстояние от крайнего ряда до стены  $l_B$  и рассчитывают число рядов светильников  $N_2$ . Число светильников в ряду и общее число светильников в помещении определяют после светотехнического расчета установки [3, 4].

В практике для светотехнического расчета наиболее часто применяют следующие методы [3, 4, 5].

- метод коэффициента использования светового потока;
- метод удельной мощности;
- точечный метод: а) с использованием кривых силы света; б) метод пространственных изолюкс; в) метод линейных изолюкс.

### 5.5. Метод коэффициента использования светового потока

Метод целесообразно использовать при расчете общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей с учетом отраженных составляющих светового потока. Этот метод не пригоден при расчете локализованного освещения, местного освещения, освещения наклонной или вертикальной поверхности и в случае, когда для отдельных участков освещаемой площади часть установленных в помещении светильников затеняется производственным оборудованием или другими предметами [3]. Метод заключается в определении коэффициента использования светового потока (КИСП) равного отношения светового потока, падающего на расчетную поверхность, к полному потоку осветительной установки [3]. Коэффициент использования светового потока [3]:

- 1) зависит от формы КСС светильников, возрастая с увеличением степени концентрации светильниками светового потока;

2) возрастает с увеличением площади помещения, так как при этом увеличивается телесный угол, в пределах которого поток падает непосредственно на расчетную поверхность;

3) возрастает с уменьшением расчетной высоты (по той же причине);

4) убывает по мере удаления формы помещения от квадрата, так как при этом уменьшается среднее расстояние светильников от стен и увеличивается доля светового потока, падающего на стены;

5) возрастает, хотя и незначительно, с увеличением относительного наивыгоднейшего расстояния, так как при этом увеличивается среднее расстояние светильников от стен;

6) возрастает с увеличением коэффициентов отражения потолка, стен и пола помещения.

Зависимость КИСП от площади помещения, высоты и формы учитывается одной комплексной характеристикой – индексом помещения:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}.$$

Данный коэффициент (табл. 5.5) определяется по справочным таблицам [3, 4] по известному индексу помещения, коэффициентам отражения потолка  $\rho_n$ , стен  $\rho_c$  и пола  $\rho_p$  (табл. 5.6), типу светильника (типу его КСС).

Основная расчетная формула метода КИСП [3]:

$$\Phi = \frac{K_c \cdot Z \cdot E_{i\delta} \cdot S}{N \cdot \eta},$$

Таблица 5.5

КИСП для светильников с типовыми кривыми силы света, %

KCC	$\rho_{\text{н}}=0,7; \rho_{\text{с}}=0,5; \rho_{\text{р}}=0,3$						$\rho_{\text{н}}=0,7; \rho_{\text{с}}=0,5; \rho_{\text{р}}=0,1$						$\rho_{\text{н}}=0,7; \rho_{\text{с}}=0,3; \rho_{\text{р}}=0,1$					
$i$	0,6	0,8	1,25	2	3	5	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	26	36	46	56	67	80
Д-1	36	50	58	72	81	90	36	47	56	63	73	79	28	40	49	59	68	74
Д-2	44	52	68	84	93	103	42	51	64	75	84	92	33	43	56	74	80	76
Г-1	49	60	75	90	101	106	48	57	71	82	89	94	42	52	69	78	73	76
Г-2	58	68	82	96	102	109	55	64	78	86	92	96	48	60	73	84	90	94
Г-3	64	74	85	95	100	105	62	70	79	80	90	93	57	66	76	84	84	91
Г-4	70	77	84	90	94	99	65	71	78	83	86	87	62	69	76	81	84	85
К-1	74	83	90	96	100	106	69	76	83	88	91	92	65	73	81	86	89	90
К-2	75	84	95	104	108	115	71	78	87	95	97	100	67	75	84	93	97	100
К-3	76	85	96	106	110	116	73	80	90	94	99	102	68	77	86	95	98	101
Л	32	49	59	71	83	91	31	46	55	65	74	83	24	40	50	62	71	77

Таблица 5.5, окончание

KCC	$\rho_n = \rho_c = 0,5; \rho_p = 0,3$						$\rho_n = \rho_c = 0,5; \rho_p = 0,3$						$\rho_n = 0,5; \rho_c = 0,3; \rho_p = 0,1$					
<i>i</i>	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5
М	32	45	55	67	74	84	31	43	53	63	72	80	23	36	45	56	65	75
Д-1	36	48	57	66	76	85	34	47	54	63	70	77	27	40	48	55	65	73
Д-2	42	51	65	71	90	85	40	48	61	74	82	84	33	42	52	69	75	86
Г-1	45	56	65	78	76	84	44	53	69	77	83	80	41	48	64	76	70	88
Г-2	55	66	80	92	96	103	53	63	76	85	90	94	48	58	72	83	86	93
Г-3	63	72	83	91	96	100	61	68	78	84	88	91	57	65	75	83	86	90
Г-4	68	73	81	87	91	94	65	71	78	81	84	85	62	63	74	81	83	85
К-1	70	78	86	92	96	100	68	77	83	86	89	90	64	73	80	86	88	90
К-2	72	80	91	99	103	108	71	78	87	93	98	99	68	74	84	92	93	99
К-3	74	83	93	101	106	110	72	79	88	94	97	99	68	76	85	93	95	99
Л	32	47	57	69	79	90	30	45	55	65	70	78	24	40	49	60	70	76

KCC	$\rho_n = 0,3; \rho_c = \rho_p = 0,1$						$\rho_n = \rho_c = \rho_p = 0$					
<i>i</i>	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	73	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

где  $K_c$  – коэффициент запаса;  $Z$  – коэффициент неравномерности освещения (минимальной освещенности);  $E_{i\delta}$  – нормативная освещенность, лк;  $N$  – количество ламп (если предполагается светильник с одной лампой, то  $N = N_\Sigma$ , т.е. числу светильников);  $\eta$  – коэффициент использования светового потока;  $S$  – площадь освещаемой поверхности помещения, м<sup>2</sup>.

Коэффициент минимальной освещенности  $Z$  характеризует неравномерность освещения [3]. Он является функцией многих переменных, точное его определение затруднительно, но в наибольшей степени он зависит от отношения расстояния между светильниками к высоте подвеса. Если при расположении светильников выдержано наивыгоднейшее отношение  $L/H_{\text{в}}$ , рекомендуется принимать  $Z = 1,1$  для люминесцентных ламп и  $Z = 1,15$  для ламп накаливания и газоразрядных ламп высокого давления (ГЛВД). Для светильников отраженного света  $Z = 1$ .

Таблица 5.6

## Коэффициенты отражения света поверхностями

Характеристика отражающей поверхности	Коэффициент отражения, %
Побеленный потолок, побеленные стены	70
Побеленный потолок в сырых помещениях; чистый бетонный и светлый, деревянный потолок	50
Обои белые, кремовые, светло-желтые	85–65
Бетонный потолок в грязных помещениях; бетонные стены с окнами; стены, оклеенные светлыми обоями	30
Стены и потолки в помещениях с большим количеством темной пыли; красный кирпич неоштукатуренный; пол бетонный, асфальт; стены, оклеенные темными обоями. Темно-красные, темно-зеленые, коричневые полы и переборки	10
Переборки на судах, выкрашенные в белый, светло-шаровый и желтый цвет. Стены голубые, светло-синие; светло-зеленые, отделанные светлым деревом	50
Темно-серые, темно-шаровые переборки, стены, полы	30
Фанера	38
Оконное стекло	8
Краски: чистые цинковые белила; белая эмалевая белила и охра; белила и хром. Белая фаянсовая плитка	70
Краски: белила и зеленая светлая, белила и зеленая темная, белила и голубая. Дерево: сосна светлая	50

Для ламп накаливания и ГЛВД (точечных источников света) целесообразнее сначала задаться их количеством, затем определить световой поток по указанной формуле и выбрать по каталогу стандартную лампу.

Если ближайшие лампы имеют световой поток, лежащий за пределами от  $-10\%$  до  $+20\%$  от расчетного, то после выбора такой лампы корректируют число светильников. Затем проверяется возможность установки выбранной лампы (ламп) в выбранный светильник и рассчитывается мощность всей осветительной установки.

Для люминесцентных ламп, являющихся линейными источниками света, в связи с небольшим диапазоном их мощностей заранее выбирают лампу, а затем определяют их необходимое количество по формуле [3]

$$N = \frac{K_{\zeta} \cdot Z \cdot E_{\text{фид}} \cdot S}{\Phi \cdot \eta}.$$

Далее, с учетом предварительного расчета числа рядов, определяется число светильников в ряду (с учетом того, что число ламп в светильнике  $N_{\text{л}}$  может быть больше единицы) и округляется в сторону увеличения:

$$N_1 = N_{\Sigma} / N_2,$$

где в общем случае число светильников  $N_{\Sigma} = N / N_{\text{л}}$ .

В ходе расчета может быть получен один из следующих выводов [4]:

1) 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;

2) суммарная длина светильников равна длине помещения: задача решается устройством непрерывного ряда светильников;

3) суммарная длина светильников меньше длины помещения: принимается ряд с равномерно распределенными вдоль него разрывами между светильниками. Расстояние между светильниками в ряду  $L_{\text{д}}$  можно определить следующим образом:

$$L_{\text{д}} = \frac{A - N_1 \cdot l_{\text{л}} - 2 \cdot l_{\text{А}}}{N_1 - 1},$$

где  $l_{\text{л}}$  – длина светильника, м.

Следует также проверить равномерность освещения при полученном числе светильников путем проверки условия  $0 \leq L_{\text{д}} \leq 1,5 \cdot L_{\text{в}}$ . Если условие не выполняется, следует выбрать лампу другой мощности.

Далее приведены справочные таблицы: параметров ламп накаливания общего назначения (табл. 5.7), параметров люминесцентных ламп (табл. 5.8), параметров газоразрядных ламп высокого давления (табл. 5.9), параметров энергосберегающих (компактных люминесцентных) ламп (табл. 5.10), параметров пускорегулирующей аппаратуры (ПРА) для газоразрядных ламп (табл. 5.11), технических данных некоторых светильников с люминесцентными лампами (табл. 5.12), технических данных (кривых силы света) некоторых светильников с ЛН и ГЛВД (табл. 5.13), коэффициентов отражения поверхностей (табл. 5.6) [20, 40] и таблица коэффициентов использования светового потока (табл. 5.5) [41]. При определении КИСП в реальных расчетах желательно использовать



справочные таблицы [3, 4–6], разработанные для конкретных типов светильников. Для приблизительных учебных расчетов можно воспользоваться данными, приведенными в табл. 5.13.

В случае, если для проведения расчета освещения в табл. 5.5–5.13 недостаточно данных, следует обратиться к справочным книгам [3, 4–6], в которых содержится исчерпывающая информация.

Таблица 5.7

Параметры ламп накаливания общего назначения (220 В)

Тип лампы	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Тип лампы	Мощность, Вт	Световой поток, лм
НБ 220-25	25	205	НБ 220-200	200	2700
НБ 220-40	40	370	НБ 220-300	300	4350
НБ 220-60	60	620	НБ 220-500	500	8100
НБ 220-75	75	840	НБ 220-750	750	13200
НБ 220-100	100	1240	НБ 220-1000	1000	1820
НБ 220-150	150	1900	НБ 220-1500	1500	28000

Таблица 5.8

Параметры люминесцентных ламп

Тип лампы	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Тип лампы	Мощность, Вт	Световой поток, лм
ЛДЦ15-4	15	475	ЛДЦ40-4	40	1995
ЛД15-4		560	ЛД40-4		2225
ЛХБ15-4		640	ЛХБ40-4		2470
ЛТБ15-4		665	ЛТБ40-4		2450
ЛБ15-4		720	ЛБ40-4		2850
ЛДЦ20-4	20	780	ЛДЦ65-4	65	2900
ЛД20-4		870	ЛД65-4		3390
ЛХБ20-4		890	ЛХБ65-4		3630
ЛТБ20-4		925	ЛТБ65-4		3780
ЛБ20-4		1120	ЛБ65-4		4325
ЛДЦ30-4	30	1375	ЛДЦ80-4	80	3380
ЛД30-4		1560	ЛД80-4		3865
ЛХБ30-4		1605	ЛХБ80-4		4220
ЛТБ30-4		1635	ЛТБ80-4		4300
ЛБ30-4		1995	ЛБ80-4		4960

Примечания: Д – дневного света; Б – белая; ХБ – холодно-белая; ТБ – тепло-белая; Ц – правильной цветопередачи. Также существуют лампы мощностью 4, 6, 8, 13, 18, 36, 58 Вт, их световые потоки можно найти в справочной литературе или каталогах поставщиков.

Таблица 5.9

Параметры газоразрядных ламп высокого давления

Тип лампы	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Тип лампы	Мощность, Вт	Световой поток, лм
ДРЛ 50	50	1900	ДРЛ 1000	1000	50000
ДРЛ 80	80	3200	ДРИ 250	250	18700
ДРЛ 125	125	5600	ДРИ 400	400	32000
ДРЛ 250	250	11000	ДРИ 1000	1000	90000
ДРЛ 400	400	19000	ДНаТ 250	250	25000
ДРЛ 700	700	35000	ДНаТ 400	400	40000

Таблица.5.10

Параметры энергосберегающих ламп

Тип	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Мощность заменяемой лампы накаливания, Вт
СКЛ ЭН7А	7	400	40
СКЛ ЭН11А	11	600	60
СКЛ ЭН15А	15	900	75
СКЛ ЭН20А	20	1200	100

*Краткая характеристика пускорегулирующей аппаратуры.* Вследствии падающей вольтамперной характеристики, а также для обеспечения зажигания газоразрядных ламп их включают в сеть через пускорегулирующие аппараты (ПРА). Расшифровка обозначений ПРА на примере [41]: 1УБИ-40/220-ВП.

1-я цифра – число ламп, включаемых через аппарат.

УБ – стартерное зажигание; АБ – бесстартерное зажигание; ДБ – балластный ПРА.

И, Е, К – соответственно индуктивный, емкостной и компенсированный по коэффициенту мощности ПРА.

Числа, записанные в виде дроби: мощность ламп/напряжение сети.

А – сдвиг фаз токов ламп в многоламповом ПРА (антистробоскопический); В – встроенный в светильник, Н – независимой установки; П – с пониженным уровнем шума и радиопомех; ПП – с особо низким уровнем; без обозначения – нормальный. Далее указывается номер разработки, климатическое исполнение и категория размещения (У1–У4).

Основные технические характеристики ПРА для разрядных ламп низкого и высокого давления приведены в табл. 5.9. Подробные данные ПРА, включая коэффициент мощности, потери, схему включения, приведены в [5].

Таблица 5.11

Технические характеристики пускорегулирующих аппаратов

Тип	Мощность лампы, Вт	Рабочий ток, А	Тип	Мощность лампы, Вт	Рабочий ток, А
Стартерные ПРА для люминесцентных ламп					
1УБИ-15/127-ВП	15	0,33	1УБЕ-30/220-ВП	30	0,36
2УБИ-15/220-ВП	15	0,33	1УБИ-40/220-ВП	40	0,43
1УБИ-20/220-ВП	20	0,35	1УБЕ-40/220-ВП	40	0,43
1УБЕ-20/127-ВП	20	0,37	1УБИ-65/220-ВП	65	0,57
2УБИ-20/220-ВП	20	0,37	1УБЕ-65/220-ВП	65	0,57
2УБЕ-20/220-ВП	20	0,37	1УБИ-80/220-ВП	80	0,86
1УБИ-30/220-ВП	30	0,36	1УБЕ-80/220-ВП	80	0,86
ПРА для газоразрядных ламп высокого давления типа ДРЛ					
1ДБИ-80ДРЛ/220-В	125	0,8	1ДБИ-400ДРЛ/220-В	400	3,25
1ДБИ-125ДРЛ/220-В	125	1,15	1ДБИ-700ДРЛ/220-В	700	5,45
1ДБИ-250ДРЛ/220-В	250	2,15	1ДБИ-1000ДРЛ/220-В	1000	7,5

Таблица 5.12

Технические данные светильников с люминесцентными лампами

Тип светильника	Тип КСС	Габаритные размеры, мм	Тип светильника	Тип КСС	Габаритные размеры, мм
Светильники для произв. помещений			Светильники для обществ. помещений		
ЛСП24-1×20	М	680×75×146	ЛПО26-1×40	Д-1	1248×75×75
ЛСП24-1×40	М	1290×75×146	ЛПО46-1×20	Д, Г	640×59×96
ЛСП24-1×65	М	1590×75×146	ЛПО46-4×18	К	624×624×94
ЛСП06-2×20	Д-2	612×190×140	ЛПО01-2×20	Д	650×165×85
ЛСП02-2×40	Д-2	1234×280×159	ЛПО01-2×40	Д	1250×165×75
ЛСП02-2×65	Д-2	1534×280×159	ЛПО06-2×65	Д	1550×180×80
ЛСП03-2×80	М, Д	1695×310×405	ЛПО48-4×20	Д	645×390×100
ЛСП13-2×40	Л, Г-2	1246×480×154	ЛПО48-4×40	Д	1255×390×100
ЛСП13-2×65	Л, Г-2	1546×480×154	ЛПО50-6×40	Д	1250×560×60
ЛСП02-2×36	Д	1240×226×298	ЛСО05-2×20	Д, Г	700×200×100
ЛСП03-2×18	Д	766×210×167	ЛСО02-2×40	Г-2	1265×292×102
ЛВП25-4×18	Г	595×595×95	ЛСО02-4×40	Г-2	1265×410×102
ЛБП15-2×20	Д	620×195×144	ЛСО02-2×65	Г-2	1565×292×102
ЛБП15-2×40	Д	1240×295×165	ЛСО02-2×80	Г-2	1565×292×102
ЛБП04-4×65	Д	1630×545×405	ЛСО05-2×40	Г-1	1255×250×405
ЛПП20-2×18	Д	680×175×144	ЛВО01-2×20	Д-2, Г	600×300×90
ЛПП20-2×36	Д	1235×175×144	ЛВО01-2×40	Д-2, Г	1226×300×90
ЛПП20-2×58	Д	1585×175×144	ЛВО01-2×65	Д-2	1560×290×100
ЛСР01-1×20	М	912×365×205	ЛВО13-4×18	Д	595×592×93
ЛСР01-1×40	М	1648×265×205	ЛВО13-4×36	Д	1195×1255×88

Таблица 5.13

Технические данные светильников с ГЛВД и ЛН (кривые силы света)

Тип светильника	Тип КСС	Мощность лампы, Вт	Тип светильника	Тип КСС	Мощность лампы, Вт
Светильники с ГЛВД			Светильники с ЛН для производственных помещений		
РСП05, РСП17	Г-1, Г-3, К-1	250–1000	НСП01, НСП21	Д-2	100, 200
РСП08	Г-1, Г-3, К-1, Л	125–400	НСП02	М	100
РСП18	Г-2, Г-4, К-2	250–1000	НСП03	М	60
ЖСП01, ЖСП17	Г-4, К-2	400	НСП04, НСП09	М	200
ГСП15	Г-2	400	НСП11	Д-1, М, Д-2	100–500
ГСП17	К-1, Г-3	700, 2000	НСП20	Г-1	500, 1000
Светильники с ЛН для общественных зданий			НСП22	Д-2, Г-1	500
НПО18	Д-1, Г-1	40-150	НСП17	К-1, Г-4, Л	100–1000
НПО01, НПО16	Д-2, Д-1	60	ГсУ, ГС, НСП17	Г-4	500, 1000
НПО30	Д-1	60, 100	ГК, НСП17	К-1	1000
НПО20	М	100	НПП02, НПП03	Д-1, М	60, 100
НСО02	Д-2, М	100, 150	НПП03	М	2×40
НСО11	Д	100–300	НСР01	М	100, 200

### 5.6. Метод удельной мощности

Метод удельной мощности достаточно прост и применяется для расчета общего равномерного освещения и не пригоден для расчета локализованного освещения. Можно считать его упрощенным вариантом метода коэффициента использования светового потока. Область применения метода [3, 4]: расчет общего освещения помещений площадью больше  $10 \text{ м}^2$ , без громоздкого затеняющего оборудования, при общем равномерном расположении светильников и нормировании по всему помещению одинаковой освещенности на горизонтальной плоскости.

Значения удельной мощности  $W$ , Вт/м<sup>2</sup> (суммарная мощность ламп на каждый квадратный метр площади освещаемого помещения), находятся по таблицам удельной мощности светильников согласно [4]. Таблицы составлены для конкретных типов светильников при типовых значениях коэффициентов отражения, неравномерности освещения и запаса и для диапазона освещенности от 5 до 100 лк. Значения усреднены для нескольких диапазонов высот помещений и их площадей, при этом форма помещения не учитывается.

Крайне желательно использовать справочные таблицы удельных мощностей только в расчетных случаях близких к тем, для которых составлены данные таблицы. При соблюдении этого условия метод расчета дает приемлемые по точности результаты, которые в целом совпадают с расчетом по методу КИСП.

Последовательность расчета методом удельной мощности при использовании ламп накаливания и ГЛВД следующая [4, 3]:

- 1) выбирают тип и число светильников в помещении, расстояния между светильниками и рядами светильников согласно п. 4.5.4;
- 2) по таблице удельной мощности для выбранного типа светильника [4] принимают значение удельной мощности  $w$  с учетом высоты, площади помещения и требуемой освещенности;
- 3) определяют расчетную мощность одной лампы:  $P_{\text{Е}} = W \cdot S / N$ ;
- 4) по справочным таблицам или каталогам выбирают ближайшую по мощности лампу и проверяют возможность ее установки в выбранный светильник. При необходимости корректируют количество светильников или ламп.

Расчет освещения методом удельной мощности при освещении люминесцентными лампами производят в такой последовательности:

- 1) Предварительно выбирается мощность и тип лампы, а также тип светильника;

2) По справочным таблицам [4] для выбранного типа светильника и лампы принимают значения удельной мощности  $W$ ;

3) Определяется необходимое количество люминесцентных ламп:  
 $N = W \cdot S / P_{\text{л}} ;$

4) По количеству ламп, устанавливаемых в одном светильнике  $N_{\text{л}}$ , и их полному расчетному количеству  $N$  определяется количество светильников:  $N_{\Sigma} = N / N_{\text{л}}$ . Согласно п. 5.4 выбирается расположение светильников с проверкой расстояния между светильниками и между рядами. Если условия, указанные в п. 5.4 (табл. 5.4) не выполняются, то выбирают светильники с лампами другой мощности или светильники с другим количеством ламп и повторяют расчет.

Более подробное рассмотрение данного метода расчета и справочные таблицы выходят за рамки учебного пособия.

### 5.7. Точечный метод

Точечный метод используют для расчета неравномерного освещения: общего локализованного, местного, наклонных поверхностей, наружного. Необходимый световой поток осветительной установки определяют исходя из условия, что в любой точке освещаемой поверхности освещенность должна быть не менее нормированной, в том числе в конце срока службы источника света. Отражение от стен, потолка и рабочей поверхности не играет существенной роли. Для точечных излучателей расчет ведется следующим образом [4, 3, 4–6]:

1) определяется минимальная нормированная освещенность для помещения (при расчете общего освещения) или требуемая освещенность рабочей поверхности (при расчете местного освещения);

2) выбирается тип источника света и светильник;

3) рассчитывается размещение светильников в помещении или задается расположение светильника местного освещения относительно рабочей поверхности;

4) при расчете общего освещения на плане помещения с нанесенным расположением светильников намечаются контрольные точки. В качестве них берут точки с минимальной освещенностью на освещаемой поверхности. Такие точки следует брать в центре между светильниками или посередине между светильниками одного из крайних рядов. Не следует брать точки с минимальной освещенностью у стены или в углах. Если в таких точках есть рабочие места, то освещенность в них можно довести до нормы путем местного освещения или увеличения мощности источников ближайших светильников. При

расчете местного освещения контрольная точка принимается в пределах освещаемой рабочей поверхности на максимальном расстоянии от светильника;

5) вычисляется условная освещенность в каждой контрольной точке как сумма условных освещенностей от ближайших светильников. Точка с наименьшей условной освещенностью принимается за расчетную. Условная освещенность от каждого светильника определяется по графикам пространственных изолукс, которые приведены в справочной литературе [3–6] для распространенных типов светильников. Освещенность условно можно определить по кривой силы света светильника. Понятие «условная» освещенность подразумевает, что светильник, ее создающий, имеет световой поток 1000 лм;

6) по справочным данным выбираются коэффициенты запаса и дополнительной освещенности (например, за счет отраженного цвета  $\mu = 1,1$ );

7) Рассчитывается требуемый световой поток лампы по формуле

$$\Phi = \frac{1000 \cdot E_{\text{н}} \cdot K_{\text{с}}}{\mu \cdot \Sigma e};$$

8) из справочных таблиц выбирается ближайшая стандартная лампа, световой поток которой отличается от полученного не более чем на  $-10\% \dots +20\%$ , и определяется ее мощность. Проверяется возможность установки выбранной лампы в светильник. Если условия не выполняются, следует изменить расположение светильников или их тип.

При расчете освещения люминесцентными лампами (линейными излучателями) следует учитывать, что у них существует продольная и поперечная КСС. Поэтому расчет имеет свои особенности, которые описаны в соответствующей литературе [3–6].

Более подробное рассмотрение данного метода расчета и справочные графики выходят за рамки учебного пособия.

## 5.8. Пример расчета освещения помещения методом КИСП

Рассмотрим два варианта расчета освещения лампами накаливания и люминесцентными лампами для помещения учебной лаборатории (табл. 5.14 и 5.15). На рис. 5.3 показан план помещения с обозначениями расстояний. Приведенный пример расчета показывает такое преимущество освещения люминесцентными лампами по сравнению с лампами накаливания, как снижение потребляемой мощности в 3,75 раза при большей освещенности. Выбранные в расчете типы светильников и

их расположение не являются единственно возможными (например, можно было выбрать 8 светильников ЛПО 4×20). При выборе другой лампы, например ЛДЦ40, с меньшим световым потоком, потребовалось бы применение светильников ЛПО 4×40. Также можно было выбрать подвесные светильники ЛСО, что, однако, нежелательно по эстетическим соображениям.

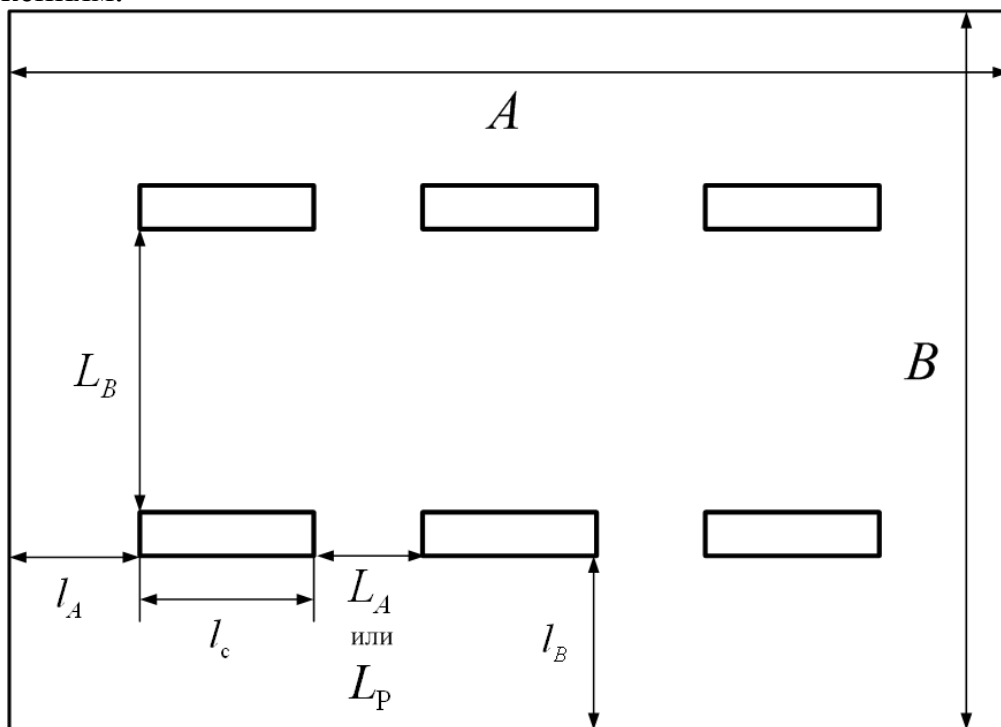


Рис. 5.3. План помещения лаборатории

Таблица 5.14

Расчет общего освещения лампами накаливания

		Обозн.	Значение
Исходные данные			
Наименование помещения		Учебная лаборатория	
Размеры помещения, м: длина × ширина × высота		$A \times B \times H$	$7 \times 5,5 \times 3,2$
Площадь освещаемой поверхности, м <sup>2</sup>		$S$	38,5
Нормативная освещенность, от общего в составе комбинированного, лк (см. табл. 5.1)		$E_{\text{н.д}}$	400, понижаем на одну ступень, так как ЛН: 300
Коэффициент запаса (п. 5.2)		$K_{\text{з}}$	$0,85 \cdot (1,2-1,4); 0,85 \cdot 1,2 \approx 1$
Тип светильника (предварительно)	НСО (с ЛН, подвесной, для общественных зданий), тип КСС Д-2		
Расстояние от потолка до светильника (свес), м	$h_{\text{н}}$	0,7	
Расстояние от пола до рабочей поверхности, м	$h_{\text{д}}$	0,7	
Высота подвеса светильника, м: $H_{\text{д}} = H - h_{\text{н}} - h_{\text{д}}$	$H_{\text{д}}$	1,8	
Коэффициент неравномерности освещения		$Z$	1,15



Коэффициенты отражения: потолок, стены, пол	$\rho_{\text{п}}, \rho_{\text{с}}, \rho_{\text{р}}$	70, 30, 30
Выбор расположения светильников		
Оптимальное расстояние (между рядами), м $\lambda_{\text{н}} \cdot H_{\text{Д}} \leq L \leq \lambda_{\text{г}} \cdot H_{\text{Д}}$ (табл. 5.4):	$L (L_{\text{В}})$	$1,2 \cdot H_{\text{Д}} = 2,2; 2,1 \cdot H_{\text{Д}} = 3,8;$ принимаем $L_{\text{В}} = L = 2,25$
Оптимальное расстояние, м: $L_{\text{В}} \leq L_{\text{А}} \leq 1,5 \cdot L_{\text{В}}$	$L_{\text{А}}$	$L_{\text{А}} \leq 3,4;$ принимаем $L_{\text{А}} = 3$

Окончание табл. 5.14

	Обозн.	Значение
Расстояние от стены до ряда светильников, м: желательно $l_B=0,3...0,5) \cdot L_B$	$l_B$	$l_B = 0,675-1,125$ ; принимаем $l_B = 0,75$
Расстояние от стены до светильника в ряду, м:(желательно $l_A=(0,3...0,5) \cdot L_A$	$l_A$	$l_A = 0,9-1,5$ ; принимаем $l_A = 0,5$ (по условиям помещения)
Число рядов светильников $N_2 = (B - 2 \cdot l_B) / L_B + 1$	$N_2$	$N_2 = 2,77$ ; принимаем $N_2 = 3$
Число светильников в ряду $N_1 = (A - 2 \cdot l_A) / L_A + 1$	$N_1$	3
Число светильников в помещении $N_{\Sigma} = N_1 \cdot N_2$	$N_{\Sigma}$	9
Выбор лампы		
Индекс помещения: $i = A \cdot B / (h \cdot (A + B))$	$i$	0,96
КИСП (см. табл. 5.13)	$\eta$	0,58
Число ламп в помещении	$N$	9
Требуемый световой поток лампы, лм: $\Phi = (K_{\zeta} \cdot Z \cdot E_{i \text{ и } d} \cdot S) / (N \cdot \eta)$	$\Phi$	2545
Тип выбранной лампы накаливания (табл. 5.5)	НБ 220-200	
Световой поток выбранной лампы, лм	$\Phi_{\text{Б}}$	2700
Мощность выбранной лампы, Вт	$P_{\text{Б}}$	200
Отклонение светового потока выбранной лампы от требуемой величины, %: $(\Phi_{\text{Б}} - \Phi) \cdot 100 / \Phi$	$\Delta \Phi$	6,1 %, значение в допустимых пределах (-10 %...+20 %)
Тип светильника	НСО11-200 «Шар», КСС Д.	
<i>Примечание:</i> Поскольку большинство светильников для общественных помещений рассчитаны на мощность менее 150 Вт, то в данном случае можно также выбрать аналогичный светильник для производственных помещений, тип НСП 200. Также возможен выбор многоламповых бытовых светильников, тип НСБ 4х60.		
Мощность системы освещения, Вт: $P_{\text{и}} = N \cdot P_{\text{Б}}$	$P_{\text{и}}$	1800
Удельная мощность, Вт/м <sup>2</sup> : $P_{\text{оа}} = P_{\text{и}} / S$	$P_{\text{оа}}$	47

Таблица 5.15

Расчет общего освещения люминесцентными лампами

		Обозн.	Значение
Исходные данные			
Наименование помещения		Учебная лаборатория	
Размеры помещения, м: длина× ширина× высота		$A \times B \times H$	$7 \times 5,5 \times 3,2$
Площадь освещаемой поверхности, м <sup>2</sup>		$S$	38,5
Нормативная освещенность, от общего в составе комбинированного, лк (табл. 5.1)		$E_{i\delta}$	400 (оставляем без изменения, так как ЛЛ)
Продолжение табл. 5.15			
		Обоз- начение	Значение
Коэффициент запаса (п. 5.2)		$K_{\zeta}$	1,2–1,4; принимаем 1,2
Тип светильника (предварительно)	ЛПО (с ЛЛ, потолочный для общественных зданий), тип КСС Д.		
Расстояние от потолка до светильника (свес), м	$h_{\text{н}}$	0	
Расстояние от пола до рабочей поверхности, м	$h_{\text{д}}$	0,7	
Высота подвеса светильника, м: $H_{\text{Д}} = H - h_{\text{н}} - h_{\text{д}}$	$H_{\text{Д}}$	2,5	
Коэффициент неравномерности освещения	$Z$	1,1	
Коэффициенты отражения: потолок, стены, пол	$\rho_{\text{п}}, \rho_{\text{с}}, \rho_{\text{р}}$	70, 30, 30	
Предварительный выбор расположения светильников			
Оптимальное расстояние (между рядами), м: $\lambda_{\text{н}} \cdot H_{\text{Д}} \leq L \leq \lambda_{\text{г}} \cdot H_{\text{Д}}$ (табл. 5.4)	$L (L_{\text{В}})$	$1,2 \cdot H_{\text{Д}} = 3$ ; $2,1 \cdot H_{\text{Д}} = 5,25$ ; принимаем $L_{\text{В}} = L = 3$	
Расстояние от стены до ряда светильников, м: (желательно $l_{\text{В}} = (0,3 \dots 0,5) \cdot L_{\text{В}}$ )	$l_{\text{В}}$	$l_{\text{В}} = 0,9\text{--}1,5$ ; принимаем $l_{\text{В}} = 0,75$ (по условиям помещения)	
Число рядов светильников $N_2 = (B - 2 \cdot l_{\text{В}}) / L_{\text{В}} + 1$	$N_2$	$N_2 = 2,33$ ; принимаем $N_2 = 2$	
Предварительный выбор лампы			
Тип люминесцентной лампы (табл. 4.5.6)	ЛБ40-4		
Световой поток выбранной лампы, лм	$\Phi_{\text{Е}}$	2850	
Мощность выбранной лампы, Вт	$P_{\text{Е}}$	40	
Выбор числа ламп и светильников, расположения светильников			
Индекс помещения: $i = A \cdot B / (h \cdot (A + B))$	$i$	0,96	
КИСП (табл. 4.5.13)	$\eta$	0,58	
Число ламп в помещении $N = \frac{K_{\zeta} \cdot Z \cdot E_{i\delta} \cdot S}{\Phi \cdot \eta}$	$N$	$N = 12,3$ ; принимаем $N = 12$	
Тип светильника; габариты, мм	ЛПО01-2х40, тип КСС – Д; 1250×165×75		
Число ламп в выбранном светильнике	$N_{\text{н}}$	2	
Число светильников в помещении $N_{\Sigma} = N / N_{\text{н}}$	$N_{\Sigma}$	6	

Окончание табл. 5.15

Число светильников в ряду $N_1 = N_{\Sigma} / N_2$	$N_1$	3
Суммарная длина светильников, м: $L_{\Sigma} = N_1 \cdot l_{\text{н}}$	$L_{\Sigma}$	3,75; $L_{\Sigma} < A$ , ряд с разрывами
Расстояние от стены до светильника в ряду, м:	$l_A$	принимаем $l_A = 0,75$
Расстояние между светильниками, м: $L_D = (A - N_1 \cdot l_{\text{н}} - 2 \cdot l_A) / (N_1 - 1)$	$L_D$	0,875
Условие равномерности освещения: $0 \leq L_D \leq 1,5 \cdot L_B$	$0 \leq L_D \leq 4,5$ , условие выполняется	
Тип ПРА (табл. 5.9)	1УБИ-40/220-ВПП	
Мощность системы освещения, Вт: $P_i = N \cdot P_{\text{Е}}$	$P_i$	480
Удельная мощность, Вт/м <sup>2</sup> : $P_{\text{оа}} = P_i / S$	$P_{\text{оа}}$	12,5
Предварительный выбор лампы и расположения светильников принимаем в качестве окончательного.		

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Бондаренко, С. И.** Электрическое освещение : учеб. пособие / С. И. Бондаренко. – Иркутск : ИрГТУ, 2000. – 52 с.
2. **Васендин, В. Н.** Расчет освещения помещений : метод. указания к лабораторной работе / В. Н. Васендин, Д. А. Кобалева. – Нижний Тагил : НТИ (ф) ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. – 28 с.
3. **Естественное и искусственное освещение** : СНиП 23-05-95: Министерство строительства Российской Федерации (минстрой России), Москва 1995.
4. **Кнорринг, Г. М.** Осветительные установки / Г. М. Кнорринг. – Л. : Энергоиздат. Ленингр. отделение, 1981. – 288 с.
5. **Кунгс, Я. А.** Энергосбережение и энергоаудит в осветительных и облучательных установках. / Я. А. Кунгс, Н. В. Цугленок. – Красноярск, КГАУ, 2003.
6. **Лесман, Е. А.** Освещение административных зданий и помещений (Библиотека светотехника. Вып. 13) / Е. А. Лесман. – Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1985. – 88 с.
7. **Оболенцев, Ю. Б.** Электрическое освещение общепромышленных помещений (Библиотека светотехника. Вып. 20) / Ю.Б. Оболенцев, Э.Л. Гиндин. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 112 с.
8. **Справочная книга** для проектирования электрического освещения / под. ред. Г. М. Кнорринга. – Л. : Энергия, 1976. – 384 с.
9. **Справочная книга** по светотехнике / под. ред. Ю. Б. Айзенберга. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 472 с.
10. **Справочная книга** по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Знак, 2006. – 972 с.
11. **Тищенко, Г. А.** Осветительные установки / Г. А. Тищенко. – М. : Высшая школа, 1984. – 246 с.

*Учебное пособие*

**Тарасов Федор Евгеньевич**  
**Гоман Виктор Валентинович**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ  
СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ**

Редактор Л.Ю. Козьяйчева  
Компьютерный версия Ф.Е. Тарасова

Подписано в печать  
Бумага типографическая.  
Уч.-изд. Л. 3,7

Плоская печать  
Тираж 100 экз.

Формат 60x84 1/16  
Усп. печ. л. 3,7  
Заказ

Редакционно-  
издательский отдел УрФУ  
620002, Екатеринбург, ул.  
Мира, 19  
rio@ustu.ru

Отпечатано в типографии  
Издательско-полиграфического центра УрФУ  
620000, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4  
Тел.: +7(343)350-56-64, 350-90-13  
Факс: +7(343)358-93-06  
e-mail: press.info@usu.ru