

М.М.Николаенок
Р.И.Кустова

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ



Тема 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

1.1. ОПТИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, ПОЛУЧЕНИЕ, ПРИРОДА, СВОЙСТВА

Введение

Установлено и общепризнанно, что использование лучистой энергии в животноводстве позволяет без больших материальных затрат снизить отход молодняка на 10-15%, повысить продуктивность животных на 20% при уменьшении затрат кормов на единицу продукции.

Неоценима роль искусственного освещения в овощеводстве защищённого грунта, без него на высоких широтах невозможно получать ранние овощи и рассаду. Вообще, всё живое на земле существует благодаря энергии оптического излучения солнца.

В настоящее время сельское хозяйство насчитывает свыше 20 производств и технологических процессов, где используется лучистая энергия – это и освещение помещений, облучение животных и растений, обогрев молодняка, обеззараживание воздуха, пищевых продуктов, тары, предпосевная обработка семян зерновых культур и др. Положительное влияние оптического излучения на биологические объекты объясняется его значительной проникающей способностью и специфическим воздействием на клеточном и молекулярном уровне.

Уровень использования оптического излучения (ОИ) в сельском хозяйстве связан с развитием и углублением электрификации. Электричество в настоящее время – важнейшее средство ускорения научно-технического прогресса в сельском хозяйстве. В своей практической работе (через 2 года) Вы столкнётесь с проблемами ещё более широкого, глубокого и экономичного использования ОИ в сельском хозяйстве. В этом Вам поможет изучение дисциплины “Электрическое освещение”.

Курс “Электрическое освещение ” в известной мере призван помочь Вам:

- а) овладеть элементами знаний в области физических и биологических основ использования оптического излучения в сельском хозяйстве;
- б) изучить устройство и работу электрических источников оптического излучения;
- в) освоить расчёт и проектирование осветительных установок;
- г) усвоить технологические требования к управлению процессами освещения;
- д) изучить принципы и схемы автоматизации осветительных установок.

1.1.1. Возникновение оптического излучения, его волновая и квантовая природа

Все тела в природе, температура которых выше абсолютного нуля, излучают в окружающую среду энергию.

Излучение – одна из форм материи, имеющая массу покоя равную нулю и движущуюся в вакууме со скоростью $c=2,988 \cdot 10^8 \text{ м с}^{-1}$. Оно характеризуется волновыми (Максвелл 1864; Герц 1886 ...1889) и квантовыми свойствами (М. Планк, 1900).

Волновые свойства излучения были предсказаны Максвеллом в 1864г и подтверждены Г. Герцем в 1886...1889гг. Согласно волновой теории, излучение распространяется в пространстве в виде электромагнитной волны, представляющей собой периодическое колебание напряжённостей электрического и магнитного полей. Распространение электромагнитной волны в пространстве сопровождается переносом энергии по направлению движения волны, т.е. энергия излучения переносится в пространстве электромагнитными волнами.

Исходя из волновых свойств, излучение характеризуют длиной волны (λ), скоростью (c) и частотой (ν), которые взаимосвязаны:

$$\nu = \frac{c}{\lambda}, \quad (1.1.1)$$

где λ – длина волны [мкм, нм, м] ($1\text{ м} = 10^6 \text{ мкм} = 10^9 \text{ нм}$); ν – частота [с^{-1}]; c – скорость распространения [м с^{-1}]

На рубеже XIX и XX столетий при объяснении отдельных свойств излучения теория волновой природы света встретила затруднения. В 1900 г. М. Планк выдвинул квантовую теорию, высказав гипотезу, что энергия излучается телами не непрерывно, а какими-то порциями. Минимальную порцию энергии излучения М. Планк назвал *квантом энергии*. Квант энергии излучения Q_e равен произведению постоянной величины \hbar на частоту излучения ν :

$$Q_e = \hbar \nu, \quad (1.1.2)$$

где \hbar - постоянная Планка, равная $6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с.

В 1905 г. А. Эйнштейн, опираясь на теоретические работы М. Планка и экспериментальные данные, сформулировал *фотонную теорию* излучения. Согласно этой теории, излучение рассматривается как поток частиц излучения, которые были названы *фотонами*. Таким образом, фотон – материальная частица массой

$$m_\phi = \frac{Q_e}{c^2}. \quad (1.1.3)$$

Для оптической части спектра $m_\phi = 10^{-30} \dots 10^{-35}$ г.

Электромагнитное излучение с длинами волн от 1нм до 1мм и лежащее в области между рентгеновскими лучами и радиоизлучением называют оптическим излучением.

Оптическое излучение возникает в результате перехода электрона на более низкий энергетический уровень (меньшую орбиту вращения вокруг ядра атома).

В начальный момент элементарные частицы вещества находятся в состоянии энергетического равновесия. Положительный заряд ядра атома уравнивается отрицательными зарядами электронов, вращающихся вокруг ядра. При подведении извне (из окружающей среды) к нейтральным атомам определённой энергии, запас ее в частице (атоме) увеличивается. При достижении какого-то значения энергии, запасенной в атоме, его электроны возбуждаются, т.е. часть электронов (в основном верхнего уровня) переходят на другую более высокую орбиту. Электрон не может находиться долгое время в возбуждённом состоянии и возвращается на свою устойчивую орбиту. При переходе с более высокой на низкую орбиту, электрон отдаёт избыточную энергию в виде излучения. Испускание энергии происходит порцией, *квантом*. Величина кванта энергии зависит от строения атома, его структуры, количества энергетических уровней, на которые может подняться электрон. Энергия кванта определяется разностью энергий энергетических уровней электрона. Различают *резонансное* и *нерезонансное* излучение.

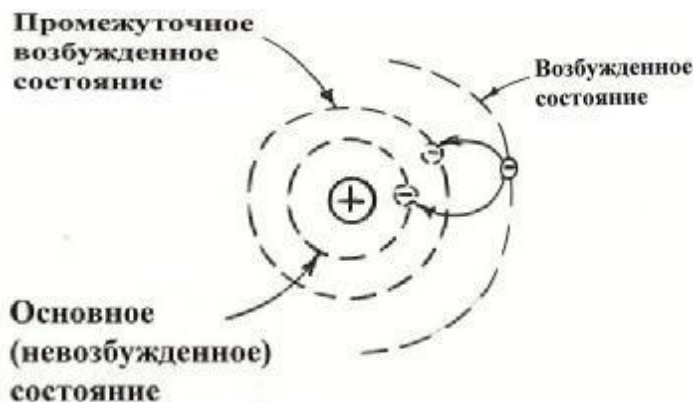


Рис. 1.1.1. К возникновению излучения

Нерезонансное излучение – излучение, возникающее в результате перехода электронов из одного возбуждённого состояния в другое с меньшей энергией, но не на основное – невозбуждённое.

Резонансное излучение – излучение, возникающее в результате перехода электронов из возбуждённого состояния в невозбуждённое.

1.1.2. Спектр оптического излучения, его характеристики и использование отдельных участков

Спектр электромагнитных излучений распространяется от космического излучения с минимальной длиной волны ($\lambda > 10^{-14} \text{ м}$) до длинноволновых излучений генераторов токов промышленной частоты ($\lambda > 10^6 \text{ м}$)

	1 нм					1 мм			
Рентгеновское излучение	Оптическое излучение								Радиоволны
					380	760			
	Ультрафиолетовое излучение				Видимое излучение	Инфракрасное излучение			
	200	280	315			1400	3000		
	Зона С	Зона В	Зона А			Зона А	Зона В	Зона С	

Рис. 1.1.2. Спектр электромагнитных излучений

В соответствии с широким диапазоном изменения длин волн и частот изменяются и свойства излучения. Поэтому весь спектр излучений разбит на области (участки). Объединение какого-либо диапазона излучений в одну область спектра электромагнитных колебаний объясняется единством принципов возбуждения и общностью методов преобразования и использования излучения этой области.

В дальнейшем нас будет интересовать оптическая область электромагнитного излучения – или иначе оптическое излучение (ОИ).

Различают оптическое излучение: а) сложное б) простое (монохроматическое).

Монохроматическое излучение – излучение одной длины волны.

Сложное излучение включает в себя несколько или множество монохроматических излучений.

В свою очередь сложное излучение может быть:

а) *сплошным* – у которого монохроматические составляющие заполняют без разрывов интервал длин волн, в пределах которого происходит излучение;

б) *линейчатым* – состоящим из отдельных, не примыкающих друг к другу монохроматических излучений.

Мерой излучения является энергия Q , измеряемая в джоулях (Дж). В практике удобнее пользоваться не энергией, а мощностью излучения (иначе её называют потоком излучения Φ):

$$\Phi_e = \frac{dQ_e}{dt}, \quad (1.1.4)$$

где t – время, за которое происходит излучение. Измеряется поток в Ваттах [Вт].



Рис. 1.1.3. Оптическая область излучения

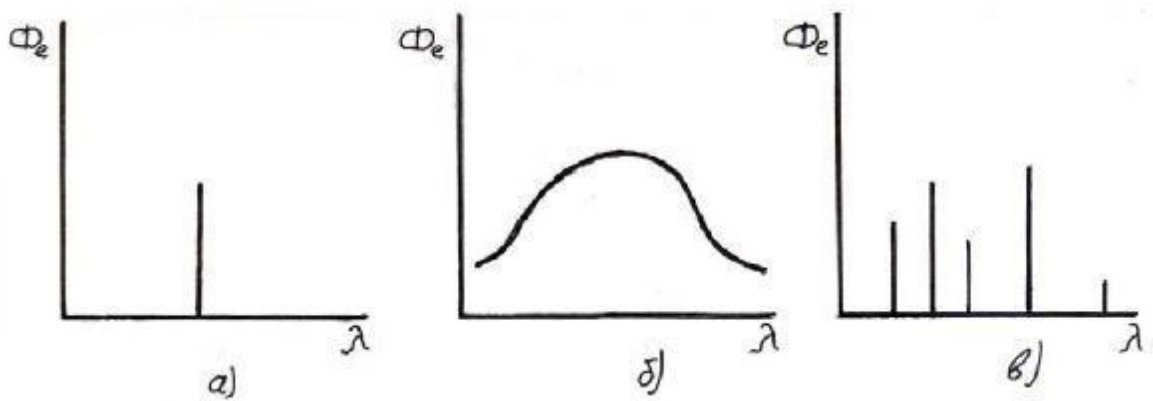


Рис.1.1.4. Спектр оптического излучения: а) простое; б) сложное сплошное; в) сложное линейчатое

Для описания распределения потока излучения по спектру (в зависимости от длины волны излучения) пользуются понятием спектральной плотности потока излучения $\varphi_{e\lambda}$:

$$\varphi_{e\lambda} = \frac{\Delta\Phi_{e\lambda}}{\Delta\lambda}, \quad (1.1.5)$$

где $\Delta\Phi_{e\lambda}$ - однородный поток на ширине полосы $\Delta\lambda$, где измерен однородный поток.

Переходя к $\Delta\lambda \longrightarrow 0$ получим:

$$\varphi_{e\lambda} = \frac{d\Phi_{e\lambda}}{d\lambda}, \quad (1.1.6)$$

или из этой формулы можно получить поток при известной спектральной плотности:

$$\Phi_e = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi_e(\lambda) d\lambda. \quad (1.1.7)$$

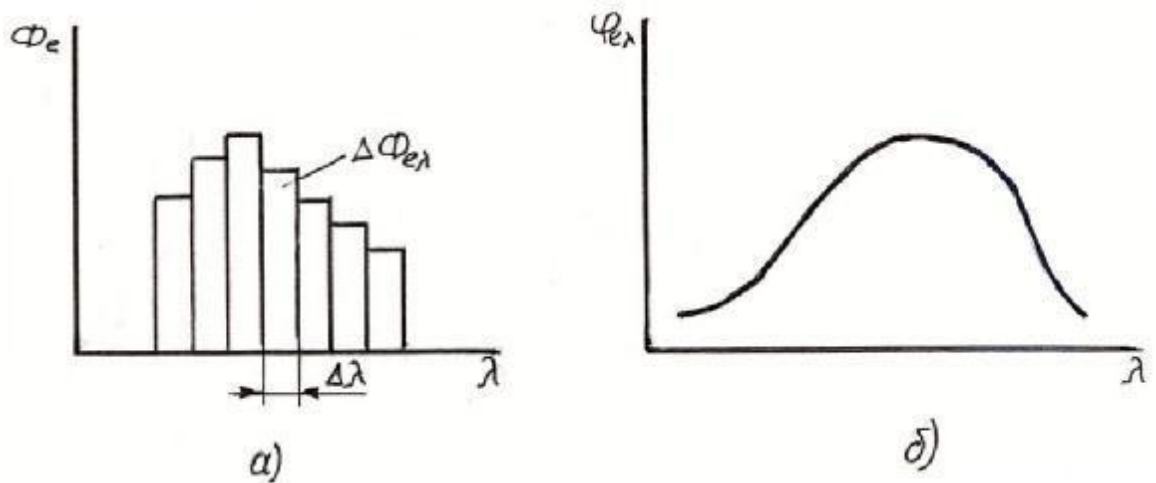


Рис. 1.1.5. Поток а) и спектральная плотность излучения б)

Зависимость $\varphi_{e\lambda}(\lambda)$ может задаваться в виде графика (рис.1.1.5, б), тогда поток Φ_e равен площади, ограниченной кривой $\varphi_{e\lambda}(\lambda)$ и осью абсцисс, или в виде таблицы.

1.2. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВЕТОТЕХНИКИ

1.2.1. Система энергетических величин ОИ и единицы их измерения

Для количественной оценки действия оптического излучения ОИ пользуются системой энергетических величин.

Основной характеристикой этой системы является мощность излучения или энергия в единицу времени. Иначе эта характеристика называется *поток излучения*

$$\Phi_e = \frac{dQ_e}{dt}, \quad [\text{Вт}] = [\text{Дж/с}] \quad (1.2.1)$$

Для монохроматического излучения

$$\Phi_{e\lambda} = \frac{dQ_{e\lambda}}{dt}, \quad (1.2.2)$$

где индекс e , в обозначении указывает на то, что принята система энергетических величин и единиц.

Или, если известна спектральная плотность потока излучения $\varphi_{e\lambda}$, то

$$\Phi_e = \int_{\lambda=1\text{нм}}^{\lambda=1\text{мм}} \varphi_{e\lambda}(\lambda) d\lambda. \quad (1.2.3)$$

При линейчатом спектре:

$$\Phi_e = \sum_{i=1}^n \Phi_{e\lambda_i}, \quad (1.2.4)$$

где $\Phi_{e\lambda_i}$ – поток излучения с длиной волны λ_i .

Распределение потока по спектру характеризуется *спектральной плотностью излучения*:

$$\varphi_{e\lambda} = \frac{d\Phi_e}{d\lambda}, \quad [\text{Вт} \cdot \text{м}^{-1}]. \quad (1.2.5)$$

Распределение потока в пространстве (пространственная плотность потока излучения) – *сила излучения* I_e

$$I_e = \frac{d\Phi_e}{d\omega}, \quad [\text{Вт} \cdot \text{ср}^{-1}], \quad (1.2.6)$$

где ω – телесный угол, в котором распределяется поток.

Телесный угол в 1 стерадиан соответствует углу конуса с вершиной в центре сферы, отсекаемому в сфере, радиусом r , площадь поверхности $S = r^2$ (см. рис.1.2.1.)

$$\omega = \frac{S}{r^2}, \quad [\text{стерадиан}]. \quad (1.2.7)$$

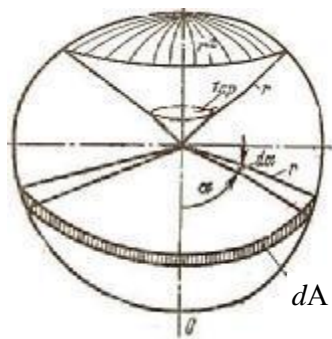


Рис. 1.2.1. К определению телесного угла

Плотность потока на облучаемой поверхности – *облученность* E_e

$$E_e = E_e = \frac{d\Phi_e}{dS_{обл.}}, \quad [\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}], \quad (1.2.8)$$

где $S_{обл.}$ – площадь облучаемой поверхности.

Плотность потока на излучающей поверхности – *энергетическая светимость* M_e :

$$M_e = \frac{d\Phi_e}{dS_{изл.}}, \quad [\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}], \quad (1.2.9)$$

где $S_{изл.}$ – площадь излучаемой поверхности.

Количество излучения, получаемого за какое-то время называют дозой облучения – *энергетической экспозицией* H_e

$$H_e = \int_{t_1}^{t_2} E_e dt, \quad [\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}] = [\text{Дж} \cdot \text{м}^{-2}]. \quad (1.2.10)$$

Таким образом, энергетические характеристики оптического излучения следующие:



1.2.2. Кривая силы излучения и расчет по ней потока излучения

Прежде чем перейти к рассмотрению вопроса вспомним некоторые понятия из стереометрии: введем понятия зонального и телесного угла.

Телесный угол ω измеряется отношением площади S , которую он вырезает на поверхности сферы, описанной из ее вершины, к квадрату радиуса r этой сферы, формула (1.2.7) (см. рис.1.2.1).

На практике часто пользуются *зональным телесным углом*, который образуется двумя коническими поверхностями и представляет собой разность двух телесных углов. Элементарный зональный телесный угол $d\omega$ ограничен двумя соосными коническими поверхностями, образующие которых смещены на угол $d\alpha$:

$$d\omega = \frac{dA}{r^2}, \quad (1.2.11)$$

где dA – площадь поверхности сферического пояса, которую вырезают две конические поверхности.

С другой стороны

$$dA = 2\pi r \sin \alpha \, d\alpha = 2\pi r^2 \sin \alpha \, d\alpha, \quad (1.2.12)$$

где α - угол раскрытия конуса.

Тогда

$$d\omega = 2\pi \sin \alpha \, d\alpha. \quad (1.2.13)$$

Известно, что сила излучения (пространственная плотность светового потока излучения) определяется отношением потока излучения $d\Phi_e$ к телесному углу $d\omega$ с вершиной в точке расположения источника, в пределах которого равномерно распределен этот поток

$$\bar{I}_e = \frac{d\Phi_e}{d\omega}. \quad (1.2.14)$$

Распределение силы излучения источников в различных направлениях пространства обычно представляется в виде графиков, таблиц, или математических выражений. Если изобразить значения силы излучения источника в различных направлениях радиус-векторами, длина которых будет определять в принятом масштабе модуль вектора силы излучения, измеренной в заданном направлении пространства, то часть пространства, ограниченная замкнутой поверхностью, представляющей геометрическое место концов радиус-векторов силы излучения, называют *фотометрическим телом* излучателя (рис.1.2.2). Обычно фотометрическое тело излучателя симметрично относительно оси источника и, следовательно, может быть принято за тело вращения. Для *симметричных излучателей* распределение излучения света может быть представлено продольной кривой распределения силы излучения (КСИ), полученной как результат сечения фотометрического тела любой плоскостью, проходящей через ось излучателя. Обычно КСИ строят в полярных координатах. (см. рис.1.2.3).

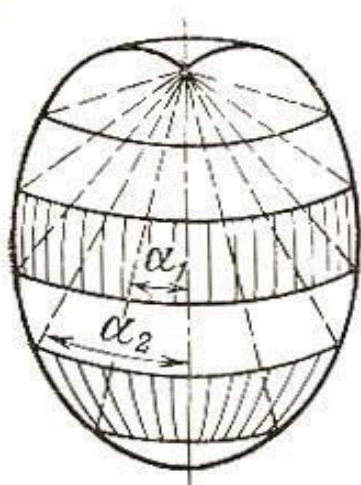


Рис.1.2.2. Фотометрическое тело излучателя

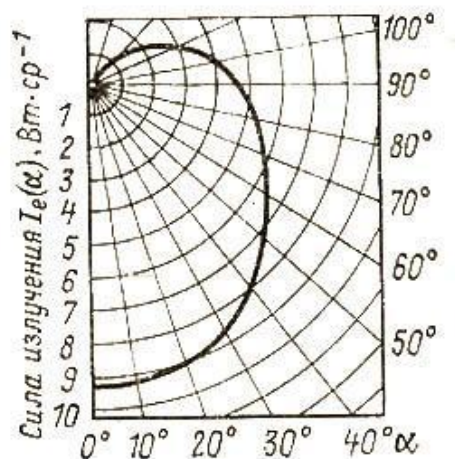


Рис. 1.2.3. Кривая силы излучения

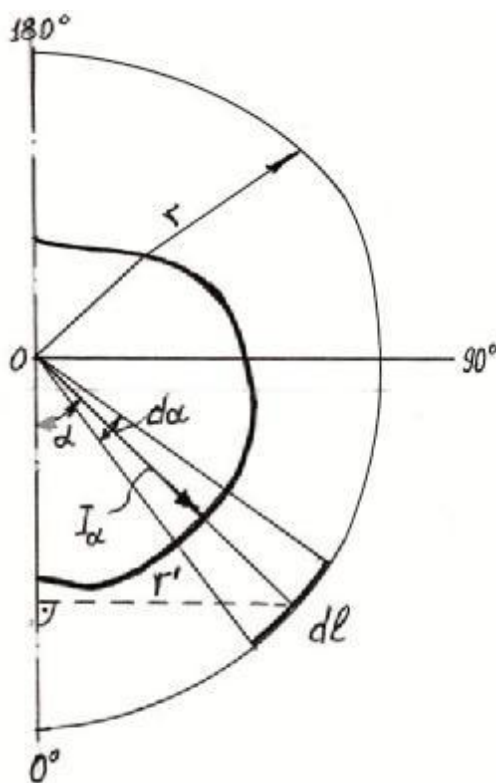


Рис. 1.2.4. К расчету потока излучения

Иногда возникает необходимость рассчитать световой поток излучателя по заданному распределению силы света.

Пусть симметричное относительно оси излучателя распределение силы света задано продольной кривой, изображенной на рис.1.2.4.

Для малых углов $d\alpha$ имеем $d\omega \approx \sin \alpha d\alpha$.

Тогда можно записать $d\ell \approx r d\alpha$;

$$d\omega = \frac{S}{r^2} =$$

$$\frac{2\pi^1 d\ell}{r^2} = \frac{2\pi r \cdot \sin \alpha \cdot r d\alpha}{r^2} = 2\pi \sin \alpha d\alpha .(1.2.15)$$

Считая, что сила света в пределах элементарного угла $d\alpha$ постоянна и равна I_α , мы можем написать, что световой поток излучения

$$d\Phi = I_\alpha d\omega = 2\pi I_\alpha \sin \alpha d\alpha , \quad (1.2.16)$$

Или

$$\Phi = 2\pi \int_0^\pi I_\alpha \sin \alpha d\alpha . \quad (1.2.17)$$

Разбивая пространство на ряд конических телесных углов, заключенных между углами открытия $\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_n$, можно вычислить поток излучения, распространяющийся в пределах каждой зоны

$$\Phi_{\alpha_1-\alpha_2} = 2\pi(I_\alpha)_{cp} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin \alpha d\alpha = 2\pi(I_\alpha)_{cp} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) = I_{\alpha cp} \Delta\omega_{\alpha_1-\alpha_2}, \quad (1.2.18)$$

где $\Delta\omega_{\alpha_1-\alpha_2}$ – зональный телесный угол рассматриваемой зоны.

1.2.3. Облученность от точечного источника горизонтальной поверхности, сферы, цилиндра

В соответствии с определением облученности имеем, что облученность

$$E = \frac{d\Phi_e}{dS}, \quad (1.2.19)$$

где $d\Phi_e$ – поток, приходящийся на единицу облучаемой поверхности dS .

С другой стороны, $d\Phi_e = I_\alpha d\omega$. Из определения телесного угла (см. рис.2.5)

$$d\omega = \frac{dS \cos \beta}{l^2}, \quad (1.2.20)$$

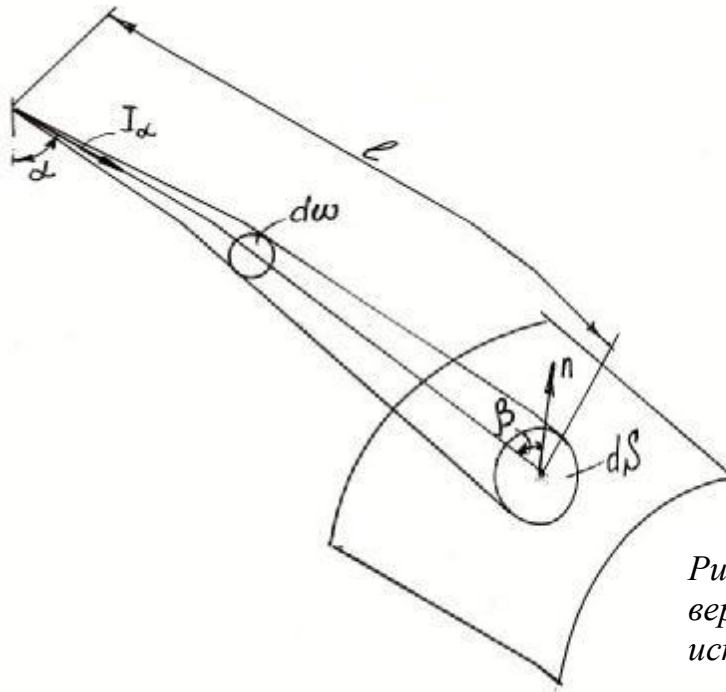


Рис.1.2.5. Облученность поверхности от точечного источника

Тогда

$$d\Phi_e = \frac{I_{e\alpha} dS \cos \beta}{l^2}, \quad (1.2.21)$$

Или, подставив это в формулу (1.2.19), получим

$$E_e = \frac{I_{e\alpha} \cos \beta}{l^2}, \quad (1.2.22)$$

При проектировании облучательных установок важно знать среднюю облученность тел различной формы.

1. Тело в виде диска диаметром $d \leq 0,5 \ell$.

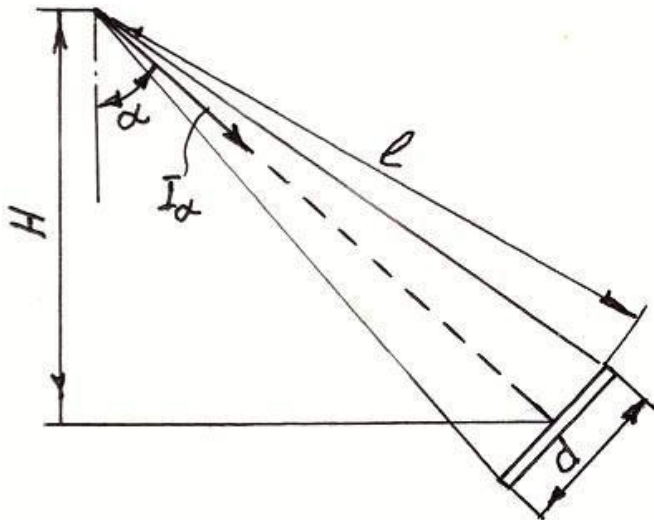


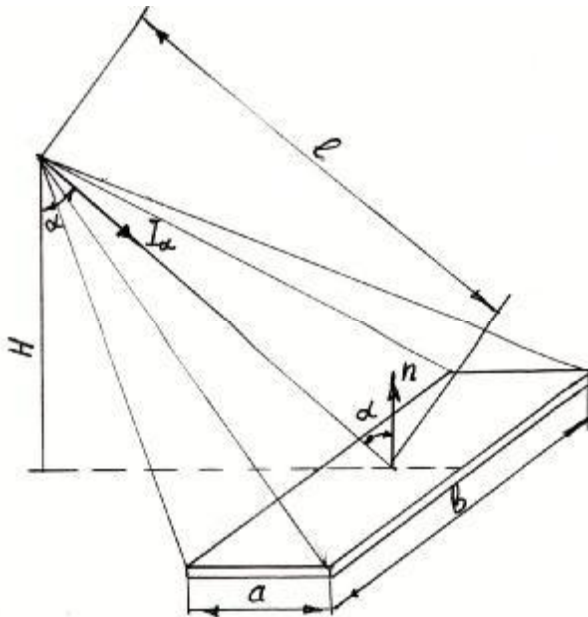
Рис.1.2.6. Облученность диска

Средняя облученность

$$E = \frac{\Phi}{S_o} = \frac{I_\alpha \pi d^2}{4l^2 \pi d^2} = \frac{I_\alpha}{l^2} = \frac{I_\alpha \cos \alpha}{H^2}, \quad (1.2.26)$$

где $H = l \cos \alpha$ - высота подвеса облучателя.

2. Облучаемое тело - горизонтальная прямоугольная пластина размерами a, b



$$\text{Площадь облучения} \\ S_o = ab. \quad (1.2.27)$$

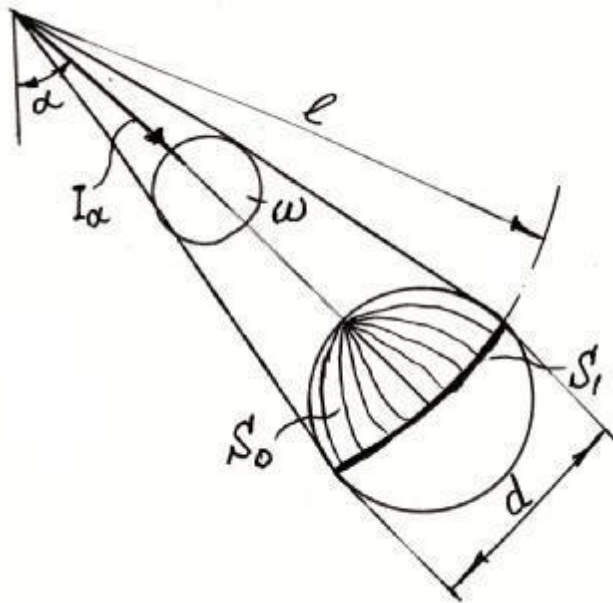
$$\text{Телесный угол} \\ \varpi = \frac{ab \cos \epsilon}{l^2}. \quad (1.2.28)$$

Тогда облученность

$$E_r = \frac{I_e ab \cos \alpha}{l^2 ab} = \frac{i_{e\alpha} \cos \alpha \cos^2 \alpha}{H^2} \quad (1.2.29)$$

Рис.1.2.7. Облучение пластины

3. Облучаемое тело – сфера диаметром d



Площадь облучения

$$S_o = \frac{\pi d^2}{2}. \quad (1.2.30)$$

Площадь сечения сферы

$$S_1 = \frac{\pi d^2}{4}. \quad (1.2.31)$$

Телесный угол

$$\omega = \frac{S_1}{l^2} = \frac{\pi d^2}{4l^2}. \quad (1.2.32)$$

Поток, падающий на сферу

$$\Phi = I_{e\alpha} \omega. \quad (1.2.33)$$

Рис.1.2.8. Облучение сфе-

Тогда облученность

$$E_{cp} = \frac{\Phi}{S_o} = \frac{I_{e\alpha} \pi d^2}{\pi d^2 4l^2} = 0,5 I_{e\alpha} \frac{\cos \alpha}{H^2}. \quad (1.2.34)$$

4. Облучаемое тело - цилиндр диаметром d и высотой h

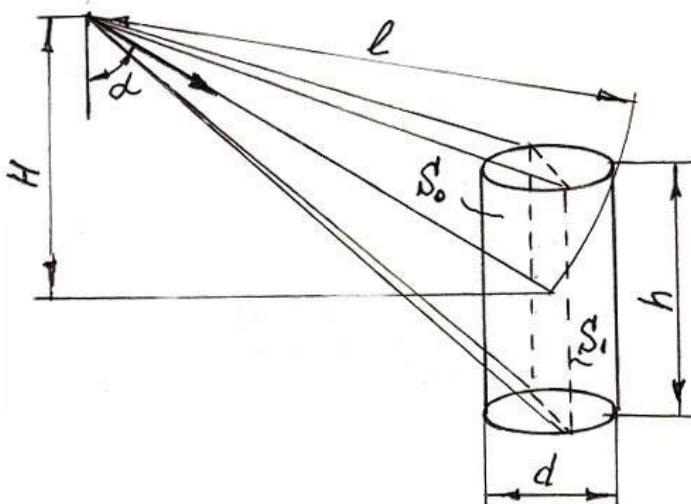


Рис.1.2.9. Облучение цилиндра

Площадь облучения

$$S_o = \frac{\pi d h}{2}. \quad (1.2.35)$$

Площадь сечения цилиндра

$$S_1 = dh. \quad (1.2.36)$$

Телесный угол

$$\omega = \frac{dh}{l^2}. \quad (1.2.37)$$

Тогда облученность

$$E_u = \frac{\Phi}{S_o} = \frac{I_{e\alpha} dh 2}{l^2 \pi dh} = \frac{2I_{e\alpha} \cos^2 \alpha}{\pi H^2} = 0,64 \frac{I_{e\alpha} \cos^2 \alpha}{H^2}. \quad (1.2.38)$$

Если проанализировать полученные формулы облученности различных тел, то можно ввести единую формулу

$$E = k_\phi \frac{I_{e\alpha} \cos^2 \alpha}{H^2}, \quad (1.2.39)$$

где k_ϕ - коэффициент формы поверхности тела, определяемый по табл.1.2.1.

1.2.1. Коэффициент формы поверхности тела

Форма поверхности тела	Значения коэффициента k_ϕ
Плоская:	
нормальная	1
горизонтальная	$\cos \alpha$
Сферическая	0,5
Цилиндрическая:	
нормальная	0,64
продольная	$0,64 \cos \alpha$

1.2.4. Облученность горизонтальной поверхности от линейного излучателя

Рассмотрим случай, когда светящаяся линия параллельна расчетной плоскости.

Положение расчетной точки выбираем так, чтобы ее проекция на плоскость P совпала с проекцией конца светящейся линии на расчетную плоскость Q . Выделим на расчетной светящейся линии бесконечно малый элемент dL , положение которого относительно расчетной точки A определяется высотой расположения H_p и углами γ и α_i .

Освещенность в точке A от элемента светящейся линии dL :

$$dE_A = \frac{dI_{\gamma, \alpha_i} \cos \beta_i}{l_i \kappa_3}, \quad (1.2.40)$$

где dI_{γ, α_i} – сила излучения элемента светящейся линии по направлению к

точке A ; β_i – угол между вектором силы излучения dI_{γ, α_i} и нормалью к облучаемой поверхности в контрольной точке; l_i – расстояние от элемента светящейся линии dL до расчетной точки; κ_3 – коэффициент запаса.

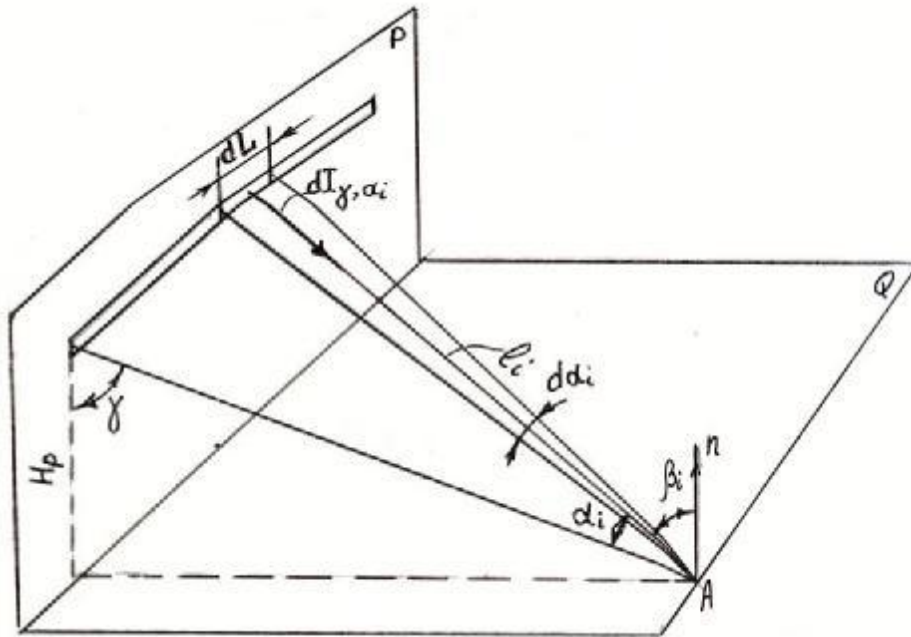


Рис.1.2.10. Облученность горизонтальной поверхности от линейного излучателя

Введя понятие силы излучения с единицы длины светящейся линии I_γ и полагая, что в плоскости оси светящейся линии (продольной плоскости) распределение силы излучения подчиняется закону косинуса, что справедливо для большинства люминесцентных светильников, будет иметь

$$dI_{\gamma, \alpha_i} = I_\gamma dL \cos \alpha_i \quad (1.2.41)$$

с другой стороны:

$$\left. \begin{aligned} \cos \beta_i &= \frac{H_p}{l_i} \\ l_i &= \frac{H_p}{\cos \gamma \cos \alpha_i} \\ dL \cos \alpha_i &= l_i d\alpha_i \end{aligned} \right\} \quad (1.2.42)$$

Подставляя (2.41) и (2.42) в (2.40) будем иметь

$$dE_A = \frac{I_\gamma}{H_p \kappa_3} \cos^2 \gamma \cos^2 \alpha_i d\alpha_i \quad (1.2.43)$$

Облученность в точке A от всей светящейся линии определяется интегрированием (2.43) по длине линии L :

$$E_A = \int_L dE_A = \frac{I_\gamma}{H_p \kappa_3} \cos^2 \gamma \int_0^{\alpha_K} \cos^2 \alpha_i d\alpha_i. \quad (1.2.44)$$

Подставив $\cos^2 \alpha_i = \frac{1 + \cos 2\alpha_i}{2}$ и интегрируя получим:

$$E_A = \frac{I_\gamma}{2H_p \kappa_3} \cos^2 \gamma \left(\alpha_K + \frac{\sin 2\alpha_K}{2} \right), \quad (1.2.45)$$

где I_γ – сила света с единицы длины светящейся линии в плоскости, перпендикулярной к оси линии $\gamma = \arctg \frac{P}{H_p}$; α – угол, под которым видна светящаяся линия из точки расчета; H_p – высота расположения светящейся линии над освещаемой поверхностью.

Силу излучения с единицы длины линии в плоскости, перпендикулярной к ее оси с некоторым приближением можно определить по формуле:

$$I_\gamma = \frac{\Phi}{\pi L}, \quad (1.2.46)$$

где Φ – поток светящейся линии.

1.2.5. Приемники лучистой энергии и их характеристики

Тела в природе, в которых происходит поглощение, и преобразование оптического излучения называют *приемниками оптического излучения*. Они могут быть «живой» природы – биологические приемники, и «неживой» природы – физические, химические и др.

Известно, что не весь поглощенный приемником поток оказывает какое-то действие. Поэтому для энергетической оценки действия оптического излучения на приемники вводят понятие *чувствительности приемника*. Различают: 1) *интегральную чувствительность* и 2) *спектральную чувствительность*.

Интегральная чувствительность оценивает чувствительность к сложному излучению и характеризуется отношением поглощенной и эффективно преобразованной энергии ко всей энергии, падающей на приемник:

$$q = C \frac{Q_{e\alpha}}{Q_e}, \quad (1.2.47)$$

где C – коэффициент, определяемый выбором единиц измерения величины; $Q_{e\alpha}$ – энергия, поглощенная и эффективно преобразованная в приемнике в другой вид энергии; Q_e – вся энергия излучения, падающая на приемник.

Однако большинство приемников обладает избирательной чувствительностью к излучению разных длин волн. Зависимость, определяющую чувствительность приемника к монохроматическому излучению разной длины волн называют *спектральной чувствительностью приемника*

$$q_\lambda = C \frac{d\Phi_{e\alpha\lambda}}{d\Phi_{e\lambda}}, \quad (1.2.48)$$

где $\Phi_{e\lambda}$ – поглощенный и эффективно преобразованный в приемнике поток монохроматического (однородного) излучения; $\Phi_{e\lambda}$ – полный поток монохроматического (однородного) излучения, падающий на приемник.

У большинства приемников спектральная чувствительность зависит от длины волны, падающего на него однородного излучения. Такие приемники называют *избирательными (селективными)*.

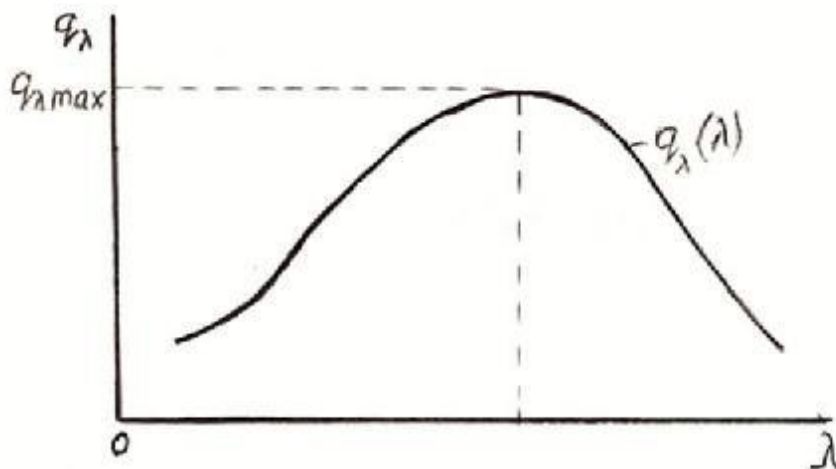


Рис.1.2.11. Спектральная чувствительность

Графически это выглядит так: $q_\lambda = f(\lambda) = q_\lambda(\lambda)$ (см. рис. 1.2.11).

В определенной части спектра спектральная чувствительность имеет максимум $q_{\lambda max}$.

Если все другие значения $q_\lambda(\lambda)$ разделить на $q_{\lambda max}$, то получим *относительную спектральную чувствительность*:

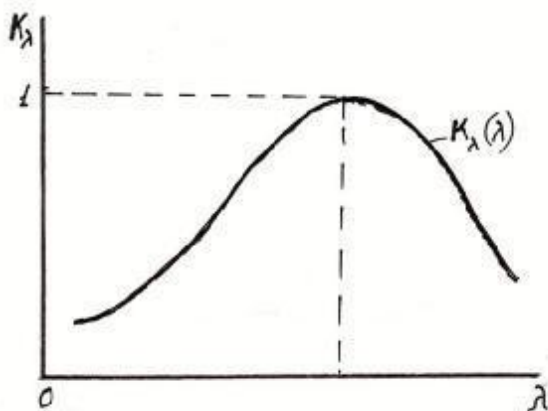


Рис.1.2.12. Относительная спектральная чувствительность

$$K_\lambda(\lambda) = \frac{q_\lambda(\lambda)}{q_{\lambda max}}. \quad (1.2.49)$$

Относительная спектральная чувствительность – величина безразмерная. Ею удобнее пользоваться для оценки спектральной чувствительности различных приемников. Она также может быть выражена графически (см. рис.1.2.12).

1.3. СВЕТОВОЕ ДЕЙСТВИЕ ОИ

1.3.1. Взаимодействие оптического излучения с приёмниками и понятие эффективного потока

Положительное, а при сильном облучении, может быть и отрицательное действие вызывает не вся энергия излучения, упавшая на приемник, а только какая-то часть ее, которую мы назовём эффективной энергией.

Эффективную энергию за время ее действия можно рассматривать как *эффективный поток*.

Эффективный поток – это мощность излучения, поглощенная приемником и вызвавшая в нем какое-то полезное (эффективное) действие или другими словами *эффективный поток* – это мощность излучения, оцененная по уровню реакции на него приемника энергии излучения, (например, реакция глаза на свет).

Если известна спектральная плотность потока излучения $\varphi_{e\lambda}$, то площадь фигуры под кривой спектральной плотности представляет собой поток излучения источника. Если на этом же графике построить график спектральной чувствительности $q_e(\lambda)$, то эффективный поток определяется площадью фигуры, заштрихованной дважды. Используя вышесказанное можно записать, что эффективный поток:

$$\Phi_{эф} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} g_{e\lambda}(\lambda) \varphi_{e\lambda}(\lambda) d\lambda. \quad (1.3.1)$$

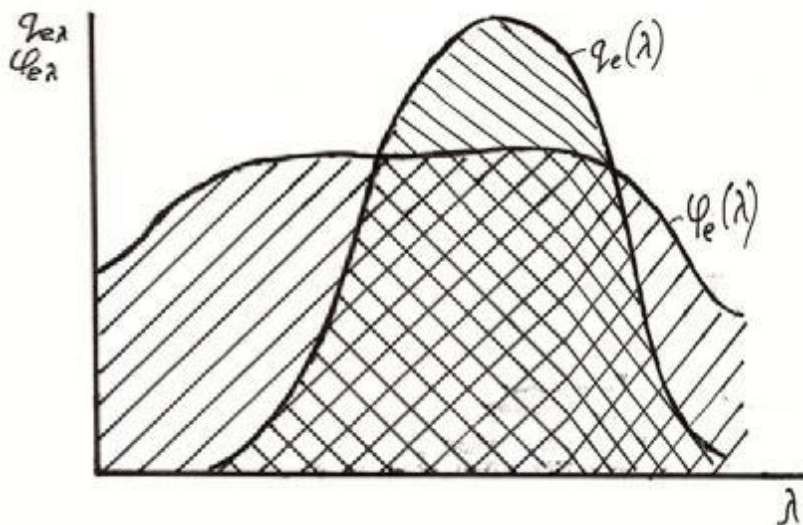


Рис. 1.3.1. Определение эффективного потока

Если же использовать понятие *относительной спектральной чувствительности*

$$K_{\lambda}(\lambda) = \frac{q_e(\lambda)}{q_e(\lambda)_{\max}} , \quad (1.3.2)$$

то

$$\Phi_{эфф} = q_e(\lambda)_{\max} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} K_{e\lambda}(\lambda) \varphi_{e\lambda}(\lambda) d\lambda . \quad (1.3.3)$$

В природе существует множество приемников излучения. Каждый из приемников по-своему реагирует на воздействие ОИ. Из-за множества приемников невозможно для каждого из них разработать свою систему единиц измерения эффективной энергии. Поэтому все приемники ОИ разбиты на несколько групп приемников, близких по своим оптическим свойствам. В каждой из групп приемников принят какой-то один средний приемник, по величине реакции которого и оценивается эффективное действие ОИ на данную группу приемников. Этот приемник принято называть *образцовым* или *эталонным приемником*.

Он должен удовлетворять следующим требованиям:

- 1) образцовый приемник должен реагировать на любые однородные излучения в пределах того участка спектра, на котором располагаются кривые спектральной чувствительности всех приемников данной группы;
- 2) мера реакции образцового приемника при облучении его потоком излучения должна поддаваться непосредственному или косвенному измерению с необходимой точностью;
- 3) эффективные величины системы, созданной на основе выбранного образцового приемника, должны обладать свойством аддитивности.

1.3.2. Системы световых величин и единицы их измерения

В настоящее время все приемники ОИ разбиты на 4 группы. Для каждой из этих групп принята своя система *эффективных* величин и единиц измерения.

1. *Световая система* эффективных величин. Эталонный приемник – глаз человека. В этой системе оценивается световое, фотопериодическое и терапевтическое действие видимого излучения.

Основной эффективной величиной в этой системе величин является световой поток Φ . Единицей светового потока является *люмен* (лм).

1 лм равен потоку, излучаемому абсолютно черным телом с площади 0,5305 мм² при температуре затвердевания платины (2042 °K).

Однородное излучение мощностью 1 Вт при $\lambda = 0,555$ мкм составляет 680 лм светового потока. Число 680 - *световой эквивалент мощности излучения*.

Максимальное значение спектральной чувствительности среднего глаза человека равно 680 лм/Вт при длине волны излучения $\lambda = 0,555$ мкм.

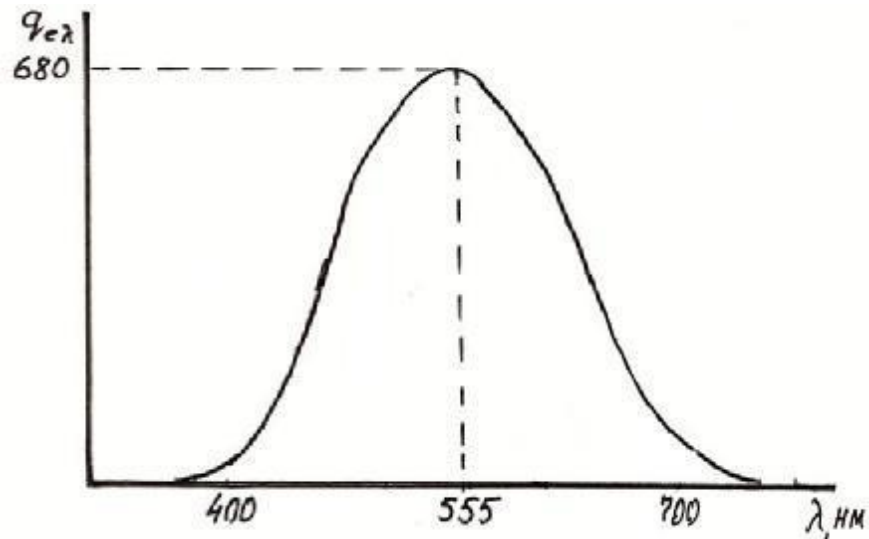


Рис. 1.3.2. Спектральная чувствительность глаза человека

Поэтому, если необходимо в общем потоке излучения определить световой поток, то используется формула:

$$\Phi = 680 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi_{e\lambda}(\lambda) K_{e\lambda}(\lambda) d\lambda, \quad (1.3.4)$$

или для монохроматического излучения

$$\Phi = 680 \sum_{i=1}^n K_e(\lambda_i) \Phi_{e\lambda_i}, \quad (1.3.5)$$

где $K_e(\lambda_i)$ – относительная спектральная чувствительность приемника

$\left(K_e(\lambda_i) = \frac{q(\lambda_i)}{q(\lambda)_{\max}} \right)$; $q(\lambda_i)$; $q(\lambda)_{\max}$ – спектральная световая чувствительность прием-

ника к излучению соответственно с длиной волны λ_i и к излучению с длиной волны λ_{\max} (при котором чувствительность максимальная).

Далее, аналогично как для системы энергетических величин, будем иметь:
сила света

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}; \left[\frac{\text{лм}}{\text{ср}} \right] = [\text{кандела}] = [\text{кд}]; \quad (1.3.6)$$

освещенность

$$E = \frac{d\Phi}{dS}; [\text{люкс}] = [\text{лк}]; \quad (1.3.7)$$

светимость

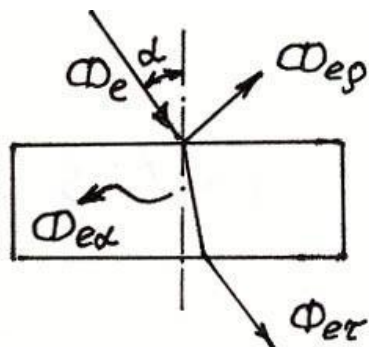
$$M = \frac{d\Phi}{dS}; [\text{лк}]; \quad (1.3.8)$$

экспозиция

$$H = \int_{\tau_1}^{\tau_2} E(\lambda) d\tau; [\text{лк} \cdot \text{с}]. \quad (1.3.9)$$

1.3.3. Световые свойства тел

Воздействие ОИ на приемники зависит от их оптических свойств. Основные оптические свойства приемников характеризуются: отражением, поглощением и пропусканием.



Отражением называют возвращение излучения объектом без изменения длин волн его составляющих монохроматических излучений.

Рис.1.3.3. Взаимодействие оптического излучения с приёмником

Различают три вида отражения:

а) направленное (или зеркальное)

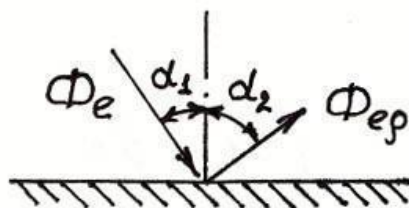


Рис.1. 3.4. Зеркальное отражение

б) диффузное (или рассеянное)

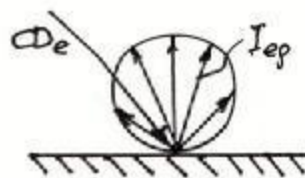


Рис. 1.3.5. Диффузное отражение

в) направленно-рассеянное

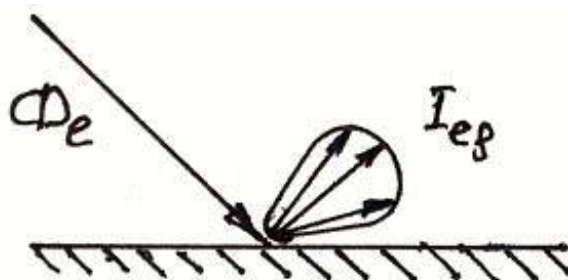
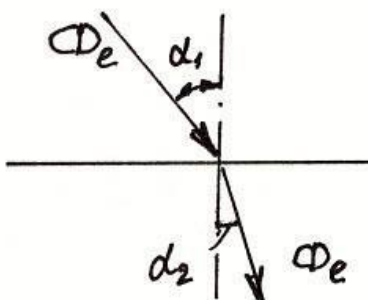


Рис. 1.3.6. Направленно-диффузное отражение

При прохождении потока излучения через прозрачное тело может быть преломление излучения либо его пропускание.

Преломлением излучения называется изменение его направления при переходе из одной прозрачной среды в другую. Луч падающий и луч преломленный лежат в одной плоскости с перпендикуляром к поверхности раздела в точке падения луча. Показатель преломления:



$$n = \frac{v_2}{v_1} = \frac{c}{v}, \quad (1.3.10)$$

где c – скорость света в вакууме.

С другой стороны

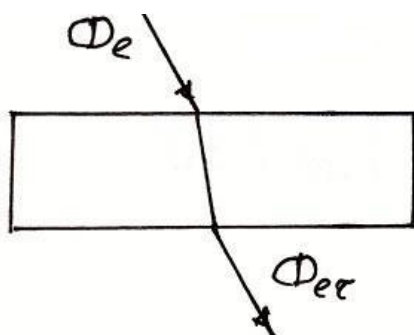
$$n = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2}, \quad (1.3.11)$$

Рис.1.3.7. Преломление луча

где α_1, α_2 – соответственно, угол падения и отражения луча.

Пропусканием называется прохождение излучения

1) направленное



2) диффузное (рассеянное)

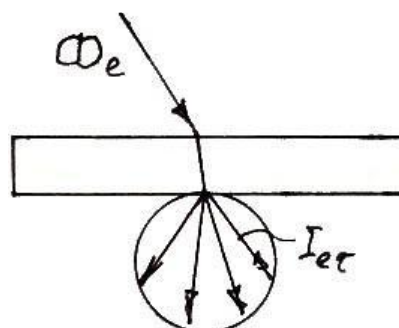


Рис.1.3.8. Направленное пропускание

Рис. 1.3.9. Диффузное пропускание

сквозь среду без изменения длин волн соответствующих его монохроматических излучений. Пропускание, также как и отражение бывает трех видов:

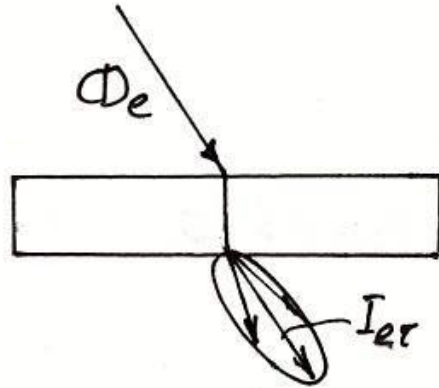


Рис.1.3.10. Направленно-диффузное пропускание

3) направленно-рассеянное

Для количественной оценки оптических свойств тел вводят интегральные коэффициенты:

поглощения

$$\alpha = \frac{\Phi_{e\alpha}}{\Phi_e} ; \quad (1.3.12)$$

отражения

$$\rho = \frac{\Phi_{e\rho}}{\Phi_e} ; \quad (1.3.13)$$

пропускания

$$\tau = \frac{\Phi_{e\tau}}{\Phi_e} . \quad (1.3.14)$$

Причем, очевидно

$$\alpha + \rho + \tau = 1, \quad (1.3.15)$$

где Φ_e – падающий поток, $\Phi_{e\alpha}$, $\Phi_{e\rho}$, $\Phi_{e\tau}$ – соответственно поток поглощенный, отраженный и пропускаемый.

Для характеристики тел, способных поглощать, отражать и пропускать излучение определенной длины волны излучения, т.е. монохроматического излучения, вводят понятие *спектральных коэффициентов поглощения α_λ , отражения ρ_λ и пропускания τ_λ* :

$$\alpha_\lambda = \frac{\Phi_{e\lambda\alpha}}{\Phi_{e\lambda}} ; \quad \rho_\lambda = \frac{\Phi_{e\lambda\rho}}{\Phi_{e\lambda}} ; \quad \tau_\lambda = \frac{\Phi_{e\lambda\tau}}{\Phi_{e\lambda}} ; \quad \alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1. \quad (1.3.16)$$

Таким образом очевидно, что интегральные коэффициенты связаны со спектральными коэффициентами следующими соотношениями:

$$\rho = \frac{\int_{1_{\text{нм}}}^{1_{\text{мм}}} \varphi_{\lambda}(\lambda) \rho_{\lambda}(\lambda) d\lambda}{\int_{1_{\text{нм}}}^{1_{\text{мм}}} \varphi_{\lambda}(\lambda) d\lambda} ; \quad \alpha = \frac{\int_{1_{\text{нм}}}^{1_{\text{мм}}} \varphi_{\lambda}(\lambda) \alpha_{\lambda}(\lambda) d\lambda}{\int_{1_{\text{нм}}}^{1_{\text{мм}}} \varphi_{\lambda}(\lambda) d\lambda} ; \quad \tau = \frac{\int_{1_{\text{нм}}}^{1_{\text{мм}}} \varphi_{\lambda}(\lambda) \tau_{\lambda}(\lambda) d\lambda}{\int_{1_{\text{нм}}}^{1_{\text{мм}}} \varphi_{\lambda}(\lambda) d\lambda}, \quad (1.3.17)$$

где в числителе этих формул приведен поток сложного излучения соответственно отраженный, поглощенный и пропущенный, а в знаменателе – падающий поток излучения.

1.3.4. Понятие яркости и цветности излучения

Известно, что уровень ощущения света зависит от освещенности (плотность светового потока) на сетчатке глаза, которая может быть определена в виде

$$E = \tau \frac{d\Phi_{\text{зр}}}{dS_2}, \quad (1.3.18)$$

где τ – коэффициент пропускания светового потока в глазной среде; $d\Phi_{\text{зр}}$ – световой поток элемента светящейся поверхности, падающий на зрачок глаза; dS_2 – площадь изображения элемента поверхности dS_1 на сетчатой оболочке глаза.

С другой стороны, световой поток, падающей на зрачок от элемента поверхности



Рис. 1.3.11. К определению яркости излучения

dS_1 может быть выражен

$$d\Phi_{\text{зр}} = dE_{\text{зр}} S_{\text{зр}}, \quad (1.3.19)$$

где $dE_{\text{зр}}$ – элементарная освещенность на зрачке; $S_{\text{зр}}$ – площадь зрачка.

В свою очередь, освещенность на зрачке

$$E_{\text{зр}} = \frac{dE_{\text{зр}} \cos \beta}{D^2} = \frac{dI_{\alpha}}{D^2}. \quad (1.3.20)$$

Тогда

$$d\Phi_{\text{зр}} = \frac{dI_{\alpha} S_{\text{зр}}}{D^2}, \quad (1.3.21)$$

Подставляя (1.3.20) в (1.3.17), получим

$$E_c = \tau \frac{dI_{\alpha} S_{\text{зр}}}{D^2 dS_2}. \quad (1.3.22)$$

Используя формулу закона квадратов будем иметь

$$\frac{dS_1 \cos \alpha}{dS_2} = \frac{D^2}{l^2}. \quad (1.3.23)$$

Откуда $D^2 = \frac{dS_1 \cos \alpha \cdot l^2}{dS_2}$, подставляя это в (1.3.21)

будем иметь

$$E_c = \frac{\tau S_{zp}}{l^2} \cdot \frac{dI_\alpha}{dS_1 \cos \alpha} = C \frac{dI_\alpha}{dS_1 \cos \alpha}, \quad (1.3.24)$$

где $C = \frac{\tau S_{zp}}{l^2} = const$ для данного глаза.

Таким образом, освещенность на сетчатке, определяющая уровень ощущения света, пропорциональна величине

$$L_\alpha = \frac{dI_\alpha}{dS_1 \cos \alpha}, \quad (1.3.25)$$

где L_α – яркость поверхности в точке А плоскости S_1 .

Яркость – отношение силы света dI_α , излучаемой элементом поверхности dS_1 в данном направлении, к площади проекции этой поверхности на плоскость, перпендикулярную к тому же направлению $dS_1 \cos \alpha$.

Оптическое излучение видимого диапазона, попадая на сетчатку глаза, может вызывать различные цветовые ощущения.

Если световой поток, создающий ощущение белого цвета, разложить с помощью призмы на монохроматические потоки, то каждый из них, как было показано Ньютоном, будет вызывать ощущение того или иного цвета. *Цветовое ощущение*, возникающее при воздействии на глаз монохроматического светового потока, *зависит от длины волны излучения*. Известно, что глаз способен различать более 150 оттенков цвета. Эти цветовые оттенки плавно переходят друг в друга, образуя семь условных участков, соответствующих наиболее характерным цветам: красному, оранжевому, жёлтому, зелёному, голубому, синему, фиолетовому (К, О, Ж, З, Г, С, Ф).

Цвета, возникающие в нашем сознании, в результате воздействия на глаз монохроматических световых потоков различных длин волн называют *спектральными цветами*. Длину волны излучения, соответствующую данному цвету называют *цветовым тоном*. Однако любой из спектральных цветов, будучи разбавлен белым цветом, образует множество оттенков этого цвета в зависимости от соотношения белого и спектрального чистого цветов. Отсюда следует, что *цветовой тон* еще не характеризует цвета. Поэтому вводят понятие *чистоты цвета P*, которая определяется долей монохроматического светового потока в световом потоке данной смеси (определяется в %).

Цветовой тон и чистота цвета являются *качественными характеристиками* цвета или, как принято говорить, характеристиками *цветности*.

Полная характеристика цвета должна включать в себя наряду с качественными показателями и *количественный* показатель – *яркость* оцениваемого излучения (при малых яркостях излучения голубой цвет будет восприниматься синим, желтый – коричневым и т.д.).

Как показывают исследования, цвет любого излучения может быть получен смешением трех *взаимно независимых разноцветных излучений* (т.е. таких, которые не могут быть получены как результат смеси двух других). Международная комиссия по освещению (1931 г.) на VIII сессии утвердила в качестве основных цветов - красный, зеленый и синий (КЗС). В соответствии с этим *количественное и качественное соответствие цвета* определяется *цветовым уравнением*:

$$\Phi = x'X + yY + zZ; \quad (1.3.26)$$

где X, Y, Z – основные цвета системы (световой поток основных цветов); x', y', z' – *координаты цвета*, определяющие количество единиц основного цвета в смеси.

Основные цвета системы для удобства расчета выбраны неодинаковыми по величине. Так световые потоки основных цветов X и Z – Φ_x и Φ_z равны нулю, а световой поток основного цвета $Y \rightarrow \Phi_y = 680$ лм.

Таким образом, для *количественной* оценки исследуемого излучения достаточно определить координату y' . Произведение y' на $\Phi_y = 680$ дает величину потока исследуемого излучения в люменах.

Для *качественной оценки цвета* необходим предварительный расчет координат цвета. С этой целью для источника со сплошным спектром, распределение лучистого потока которого характеризуется графиками функции $\varphi_\lambda(\lambda)$, всю область видимых излучений разбивают на равные интервалы $\Delta\lambda$ (5 – 10 нм), в пределах которых излучение можно считать однородным.

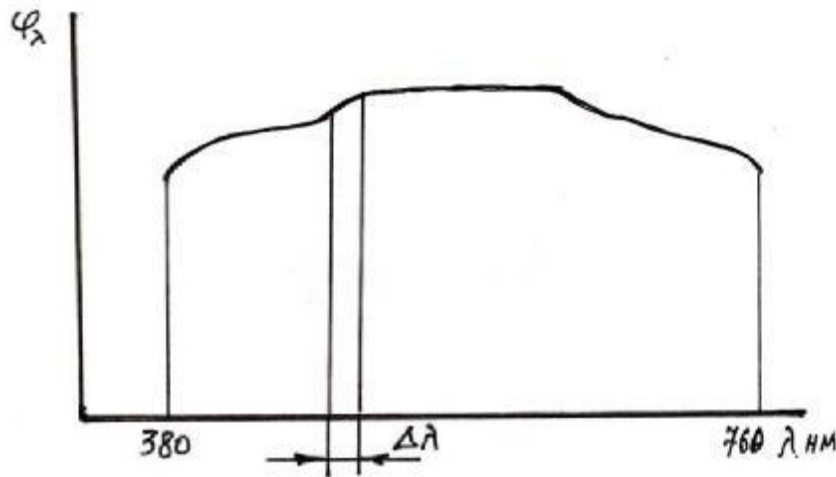


Рис. 1.3.12 Спектральная плоскость излучения источника

Для каждой из этих полос вводят понятие *удельных координат цвета* ($\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$), т.е. значения координат цвета однородного излучения мощностью

1 Вт, соответствующие середине рассматриваемого интервала $\Delta\lambda$ ($\bar{x}_i, \bar{y}_i, \bar{z}_i$)

Тогда координаты цвета можно определить из уравнений:

$$x' = \Delta\lambda \sum_{i=1}^n \varphi_{\lambda i} \bar{x}_i ; \quad (1.3.27)$$

$$y' = \Delta\lambda \sum_{i=1}^n \varphi_{\lambda i} \bar{y}_i ; \quad (1.3.28)$$

$$z' = \Delta\lambda \sum_{i=1}^n \varphi_{\lambda i} \bar{z}_i ; \quad (1.3.29)$$

для линейчатого спектра:

$$x' = \sum_{i=1}^n \bar{x}_i \Phi_i ; \quad (1.3.30)$$

$$y' = \sum_{i=1}^n \bar{y}_i \Phi_i ; \quad (1.3.31)$$

$$z' = \sum_{i=1}^n \bar{z}_i \Phi_i , \quad (1.3.32)$$

где $\Delta\lambda$ – ширина выбранного интервала спектра, нм ; $\varphi_{\lambda i}$ – значение спектральной плотности i – го интервала спектра; $\bar{x}_i, \bar{y}_i, \bar{z}_i$ – значение удельных координат цвета для i – го интервала.

Удельные координаты даются в специальных таблицах справочников

λ , нм	Удельные координаты цвета			Координаты цветности		
	\bar{x}_λ	\bar{y}_λ	\bar{z}_λ	x_λ	y_λ	z_λ
380	0,0014	0,0000	0,0065	0,1714	0,0007	0,8209
.						
.						
.						
760	0,0002	0,0001	-	0,7347	0,2653	-

Координаты цвета источника с *линейчатым спектром*

$$x' = \sum_{i=1}^n \bar{x}_i \Phi_i ; \quad y' = \sum_{i=1}^n \bar{y}_i \Phi_i ; \quad z' = \sum_{i=1}^n \bar{z}_i \Phi_i , \quad (1.3.33)$$

где Φ_i – значения однородных лучистых потоков, Вт.

Рассчитанные координаты цвета позволяют в свою очередь определить *координаты цветности излучения*

$$x = \frac{x'}{x' + y' + z'} ; \quad y = \frac{y'}{x' + y' + z'} ; \quad z = \frac{z'}{x' + y' + z'} . \quad (1.3.34)$$

Отсюда следует $x + y + z = 1$. Следовательно, для характеристики цветности достаточно двух координат, что позволяет изображать цветность в прямоугольной системе координат. В международной калориметрической системе цветовой график имеет вид (рис.1.3.13):

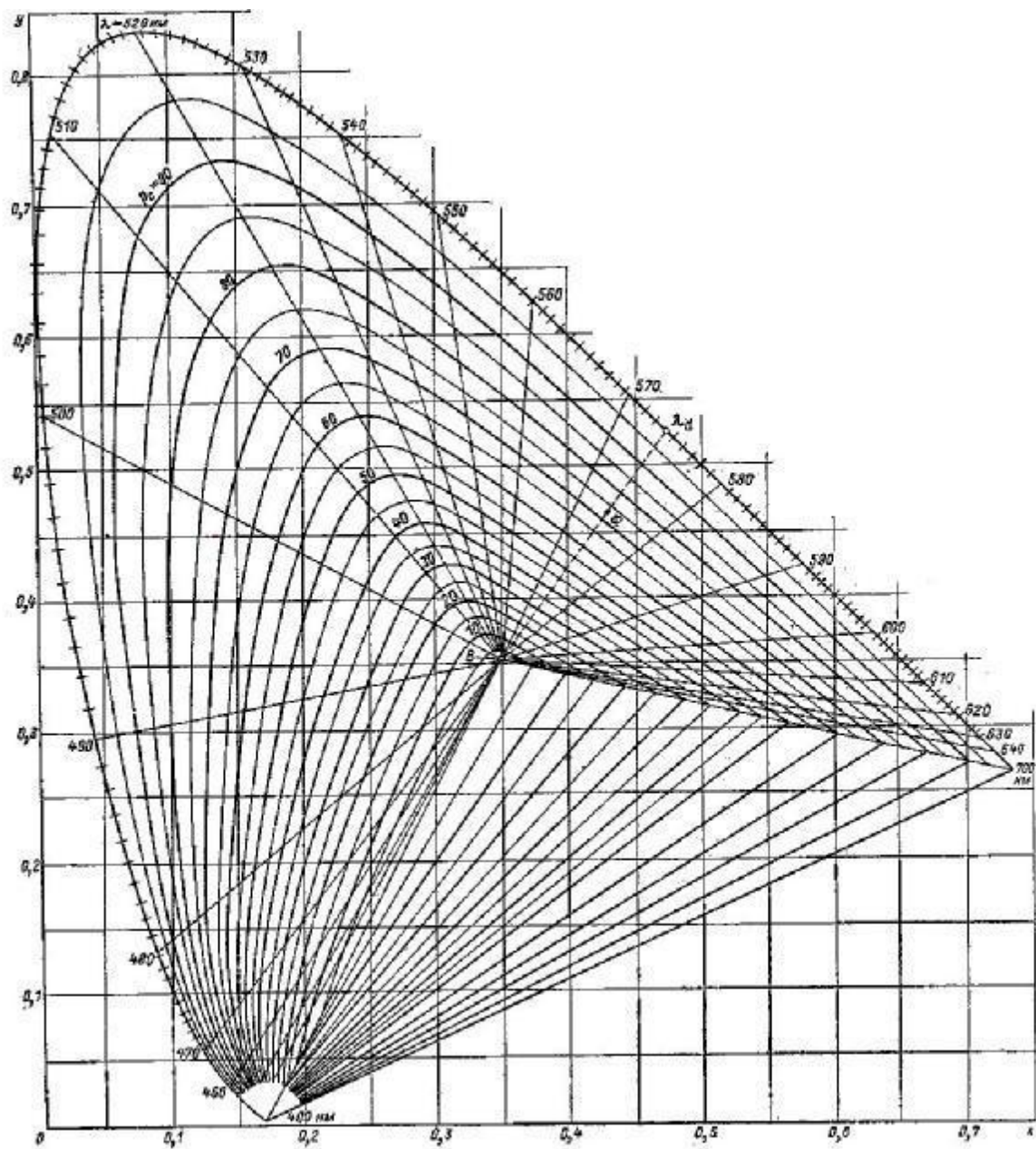


Рис. 1.3.13. Цветовой график излучения

1.4. СВЕТОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

1.4.1. Методы измерения оптического излучения

Измерения оптических характеристик источников излучения и излучателей могут осуществляться *визуальными* или *физическими* методами.

Визуальные измерения основаны на уравнивании яркостей двух смежных полей сравнения (см. рис.1.4.1)

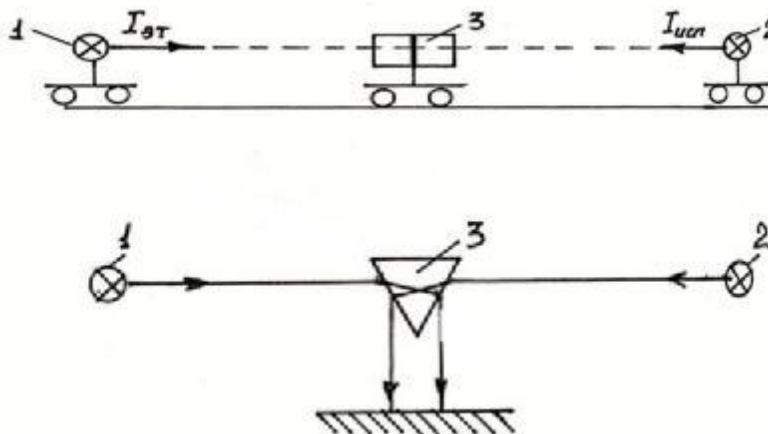


Рис.1.4.1. Визуальное измерение оптического излучения: 1 – эталонный источник; 2 – испытуемый источник; 3 – призма (фотометрическая головка)

Индикатором в этом случае является глаз человека.

Если в качестве индикатора используются физические приборы: фотоэлементы, фотоэлектронные умножители, болометры и др., то метод измерения является *физическим*.

Следует помнить, что точность визуальных измерений искажается, если цветность сравниваемых излучений различна, поэтому целесообразно применять выравнивание цветовых различий путем применения цветных фильтров.

Кроме того, зависимость результатов измерений от индивидуальных особенностей наблюдателя, состояния его организма (физическое состояние, усталость) и окружающих условий, а также длительности самого процесса измерения привели к необходимости замены глаза как индикатора физическими приборами, т.е. перейти к физической (объективной) фотометрии.

Основное *преимущество* физической фотометрии:

1. Способность физических приемников лучистой энергии к непосредственной количественной оценке измеряемых величин;

2. Способность физических приемников осуществлять измерения не только в видимой области, но и в ИК и УФ областях. Быстрота и воспроизводимость результатов измерения.

1.4.2. Измерительные приемники оптического излучения, их классификация и характеристики

Измерение ОИ основано на преобразовании энергии этого излучения чаще всего в электрическую (тепловую, химическую энергию излучения).

Приборы физического измерения ОИ принципиально состоят из: 1) *приемника излучения*; 2) *источника питания (иногда)*; 3) *показывающего прибора*, проградуированного в тех или иных единицах эффективных величин.

Источником питания чаще всего служат сухие батареи (например, элемент 373 и др.)

Показывающий прибор – микроамперметр или милливольтметр. Эти приборы наиболее часто применяют при измерении ОИ в с. х. п.

Основным элементом приборов измерения ОИ являются *приемники*. Для измерения ОИ наиболее распространены приемники, основанные на *тепловом и фотоэлектрическом* действии оптического излучения.

Фотоэлектрические приемники – энергия излучения в которых непосредственно преобразуется в электрическую энергию.

По механизму возникновения фотоэффекта приемники делятся на:

1) фотоэлементы с внешним фотоэффектом; 2) фотоэлементы с внутренним фотоэффектом; 3) фотоэлементы в запирающем слое (вентильные фотоэлементы).

Фотоэлементы с внешним фотоэффектом испускают электроны в окружающее пространство под действием поглощенного ими излучения. Принципиальное устройство таких фотоэлементов приведено на рис.1.4.2

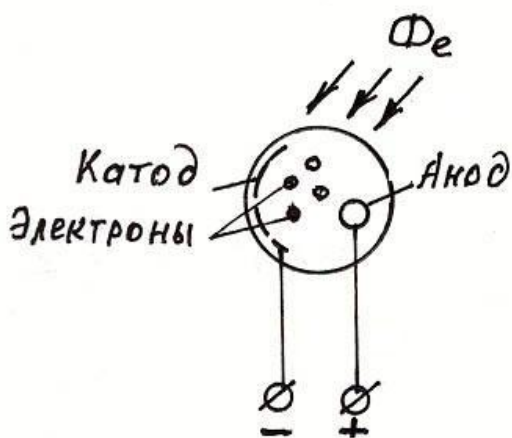


Рис.1.4.2. Схема устройства фотоэлемента с внешним фотоэффектом

Катод – светочувствительный, напылённый (калиевый, сурьмяноцезиевый) слой. Анод – кольцо из тонкой никелированной проволоки.

Фотоэлементы могут быть вакуумные и газонаполненные. В газонаполненных приемниках фототок увеличивается за счет ионизации инертных газов в полости колбы. Чувствительность $80 \dots 120 \text{ мкА} \cdot \text{лм}^{-1}$.

Разновидностью фотоэлементов с внешним фотоэффектом является *фотоэлектронные умножители* (коэффициент усиления достигает 10^7 (см. рис. 1.4.3).

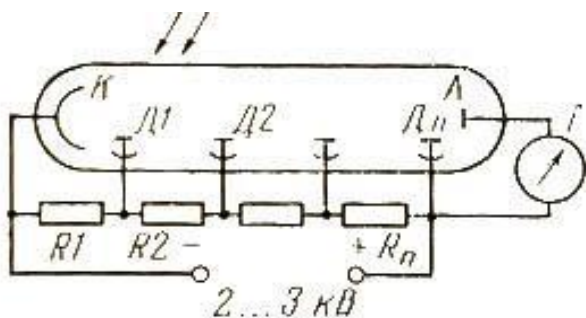


Рис.1.4.3. Схема устройства фото-электронного умножителя

селен-теллуrowые и др.). Чувствительность - $300...750 \text{ мкА} \cdot \text{лм}^{-1}$.

Это фоторезисторы, фототранзисторы (при облучении $p-n$ переходов обратный ток увеличивается).

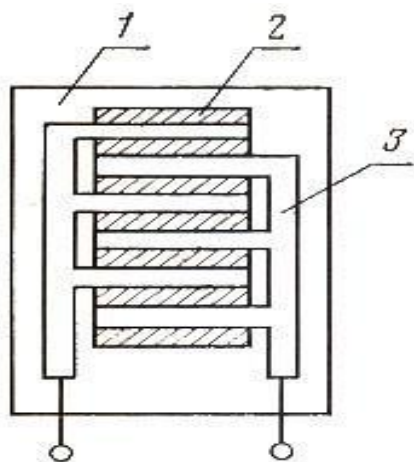


Рис.1.4.4. Схема устройства фото-элемента с внутренним фотоэф-фектом 1-изоляционная подлож-ка, 2-фоточувствительный слой;3-контактная сетка

Чтобы выбрать приемник излу-чения необходимо знать его характе-ристики. Основными характеристика-ми приемников излучения являются: интегральная чувствительность; спектральная чувствительность; вольтамперная характеристика; фото-электрические характеристики ($I = f(\Phi)$; $I = f(E)$); порог чувстви-тельности; постоянная времени; со-

Фотоэлемент с внутрен-ним фотоэффеkтом – внут-ренний фотоэффеkт проявляет-ся в изменении проводимости материалов под действием ОИ – полупроводниковое сопроти-вление под воздействием погло-щенной энергии излучения вы-свобождает электроны из кри-сталлической решетки. Наибо-лее распространены селеновые фотоэлементы (германиевые,

Фотоэлемент с запирающим сло-ем. Действие основано на явлении воз-никновения э.д.с. на электродах прибора при воздействии на него оптического излу-чения. На границе полупроводника и электрода возникает запирающий слой. При облучении электроны преодолевают запирающий слой и накапливаются на пластине, а обратный их переход невоз-можен, в результате возникает э.д.с. Эти фотоэлементы не нуждаются в дополни-тельных источниках питания.

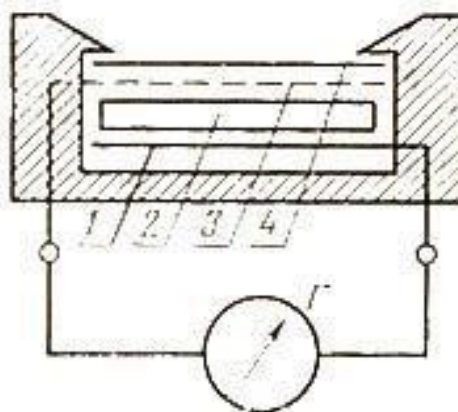


Рис. 1.4.5. Схема устройства фотоэле-мента с запирающим слоем 1-токопроводящая подложка;2-слой по-лупроводника;3-прозрачный элект-род;4-защитный слой лака

противление и др.

Интегральная чувствительность

$$q = \Delta i / \Delta \Phi \text{ [А} \cdot \text{лм}^{-1}\text{]}. \quad (1.4.1)$$

Спектральная чувствительность

$$q_{\lambda} = \Delta i / \Delta \Phi_{\lambda}. \quad (1.4.2)$$

Относительная спектральная чувствительность

$$K(\lambda) = \frac{q_{\lambda i}}{q_{\lambda \max}}. \quad (1.4.3)$$

Вольтамперная характеристика:

а) нелинейная

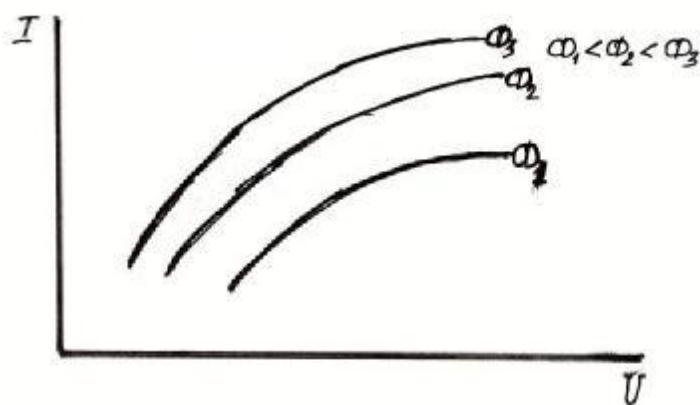


Рис.1.4.6. ВАХ приемника нелинейная

б) линейная

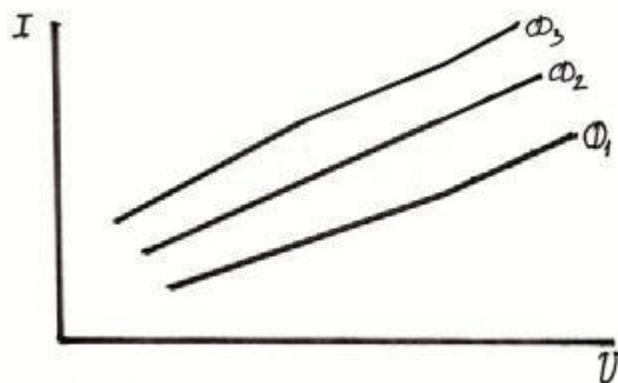


Рис.1.4.7. ВАХ приемника линейная

Фотоэлектрические характеристики

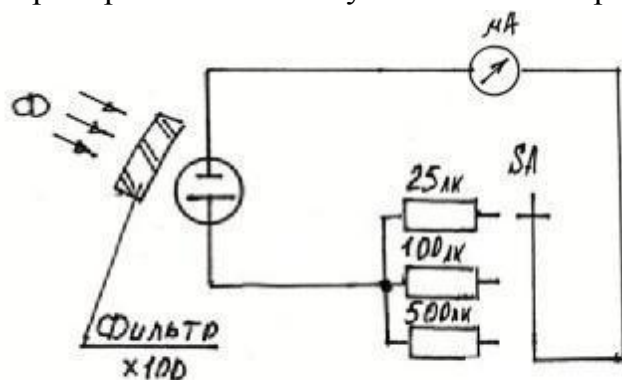
$$I = f(\Phi). \quad (1.4.4)$$

Приемники излучения выбирают по их характеристикам. При этом необходимо стремиться, чтобы:

1. Интегральная чувствительность приемника охватывала весь диапазон длин волн измеряемого ОИ.
2. Спектральная чувствительность приемника излучения прибора измерения ОИ должна соответствовать спектральной чувствительности эталонного приемника.

1.4.3. Измерение освещенности, силы света, светового потока

Необходимость в измерениях освещенности возникает весьма часто. Для измерения освещенности применяют фотометрические приборы, получившие название *люксметров*. Шкала гальванометра градуируется в люксах по стандартному методу с цветовой температурой $T = 2854K$, спектральный состав излучения которого приближается к спектральному составу ламп накаливания средней мощности (200 – 300 Вт). Возможность измерения малых значений освещенности (около 1 лк) достигается применением гальванометров чувствительностью 10^{-6} А/дел. Для измерения больших освещенностей прибор снабжается шунтами и нейтральными фильтрами. Примером



может служить прибор Ю-16. (рис.1.4.8).

Этот прибор не имеет корректирующего-фильтра, поэтому при измерении освещенности от люминесцентных ламп типа ЛД необходим коэффициент равный 0,9, а для ламп ЛБ – 1,1.

Рис. 1.4.8. Схема устройства люксметра Ю-16

можно больше совпадать с кривой спектральной чувствительности эталонного приемника (см. рис.1.4.9).

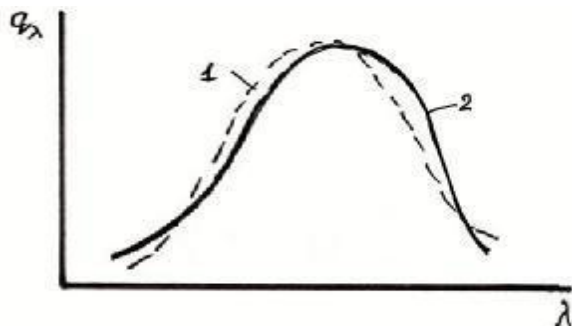


Рис. 1.4.9. Спектральная чувствительность: 1 – эталонный приемник; 2 – измерительный приемник (люксметра)

Для определения и построения характе-

ристик источников и осветительных

приборов необходимо осуществлять из-

мерение *силы света* и ее распределение

в окружающем пространстве. Для этого

можно использовать линейные и распре-

делительные фотометры. Примером ли-

нейного фотометра является фотоэлектрическая скамья. При измерении силы света испытуемый источник и эталон закрепляют неподвижно, а фотоэлектрическую головку перемещают по каретке, пока яркости не уравниются, т.е. справедливо соотношение

$$E_{\text{эм}} = E. \quad (1.4.5)$$

С другой стороны можно записать:

$$\frac{I_{\text{эм}}}{l_{\text{эм}}^2} = \frac{I_{\text{исп}}}{l_{\text{исп}}^2}; \quad (1.4.6)$$

откуда

$$I_{\text{исп}} = I_{\text{эм}} \frac{l_{\text{исп}}^2}{l_{\text{эм}}^2}.$$

Измерение силы света можно произвести и люксметром:

$$I_{\text{исп}} = \frac{E}{l_{\text{исп}}^2}, \quad (1.4.7)$$

где $l_{\text{исп}}$ – расстояние от источника до плоскости фотоэлемента, м ; E – освещенность на шкале прибора.

Измерение светового потока осуществляется в шаровых фотометрах, представляющих собой полый шар, окрашенный внутри белой диффузно-отражающей краской. Этот шар может быть диаметром от 0,5 до 2,5 м. Испытуемый источник, помещенный внутрь фотометра, посылает во все стороны световой поток $\Phi_{\text{исп}}$, который упав на внутреннюю поверхность, отражается от нее, для отраженного потока будет $\rho\Phi_{\text{исп}}$, где ρ – коэффициент отражения. После первого отражения этот поток снова упадет на стенки и снова отразится $\rho^2\Phi_{\text{исп}}$ и т.д. В результате многократных отражений на внутренней поверхности фотометра установится некоторый световой поток – Φ . Величина этого потока определяется из *закона сохранения энергии*, согласно которому величина светового потока источника должна равняться потоку, поглощенному внутри шарового фотометра в процессе многократных отражений.

$$\Phi_{\text{исп}} = \Phi(1 - \rho), \quad (1.4.8)$$

или

$$\Phi = \Phi_{\text{исп}} + \frac{\Phi_{\text{исп}}\rho}{1-\rho} = \Phi_{\text{исп}} + \Phi_o, \quad (1.4.9)$$

где $\Phi_{\text{исп}}$ – составляющая прямого потока источника, $\Phi_o = \frac{\Phi_{\text{исп}}\rho}{1-\rho}$ – составляющая потока многократных отражений.

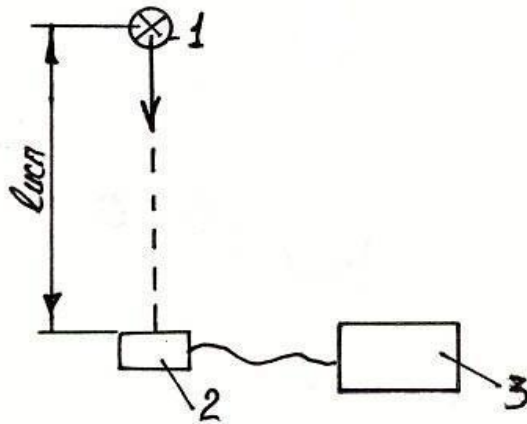


Рис. 1.4.10. Измерение силы света с помощью люксметра: 1 – источник света; 2 – фотоэлемент люксметра; 3 – люксметр

Световой поток Φ_o равномерно распределен по внутренней поверхности шарового фотометра и создает одинаковую освещенность всех ее участков:

$$E_{вн} = \frac{\Phi_o}{S_{вн}} = \frac{\rho \Phi_{исп}}{(1-\rho) \cdot 4\pi r^2}, \quad (1.4.10)$$

где r – радиус шара.

Из уравнения (1.4.10) следует, что освещенность внутренней поверхности шарового диаметра пропорциональна световому потоку, испытываемого источника света.

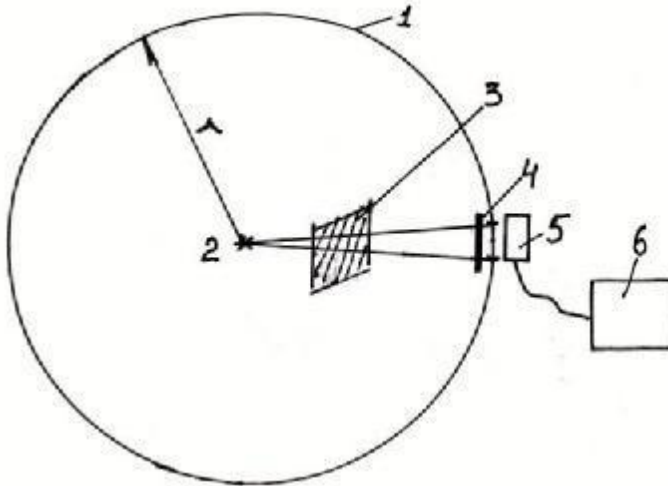


Рис.1.4.9. Схема измерения светового потока с помощью шарового фотометра: 1 – шаровой фотометр; 2 – источник света; 3 – непрозрачный белый экран; 4 – молочное стекло; 5 – селеновый фотозаэлемент; 6 – люксметр.

Светимость наружной поверхности

$$M = E_{вн} \tau, \quad (1.4.11)$$

где τ – коэффициент пропускания света молочным стеклом.

Откуда

$$E_{вн} = \frac{M}{\tau}. \quad (1.4.12)$$

Подставив (1.4.12) в (1.4.10) и выразив его для $\Phi_{исп}$, получим

$$\Phi_{исп} = \frac{M(1-\rho)4\pi r^2}{\rho\tau} = CM, \quad (1.4.13)$$

где $C = \frac{(1-\rho)4\pi r^2}{\rho\tau}$ – const шарового фотометра.

При измерении светового потока в шаровом фотометре пользуются методом замещения. При этом вначале в фотометре устанавливают источник с известным потоком (эталонный) и измеряют освещенность $E_{эм}$, а затем – испытуемый и измеряют освещенность $E_{исп}$. Искомый световой поток определяется из соотношения

$$\Phi_{исп} = \Phi_{эм} \frac{E_{исп}}{E_{эм}}. \quad (1.4.14)$$

Таким образом, формула (1.4.14) позволяет определить поток измеряемого источника при известных параметрах эталонного источника (поток $\Phi_{\text{эт}}$ и освещенность $E_{\text{эт}}$) и освещенность от измеряемого источника.

Тема 2. ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

2.1. ТЕПЛОВЫЕ ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

2.1.1 Искусственные источники ОИ, их классификация и характеристики

Источником оптического излучения является любое тело, искусственного или естественного происхождения, генерирующее ОИ. Нас будут интересовать искусственные источники ОИ.

Наиболее распространены в настоящее время искусственные источники ОИ, в которых для получения излучения, как правило, используют электрическую энергию (есть тепловые излучатели, основанные на сжигании).

В зависимости от способа преобразования энергии в оптическое излучение, источники ОИ разделяют:

- 1) источники теплового излучения (лампы накаливания);
- 2) газоразрядные источники ОИ низкого, высокого и сверхвысокого давления (люминесцентные лампы, лампы ДРЛ, ДРИ, ДНаТ и др.);
- 3) источники смешанного (теплового и газоразрядного) излучения (лампы ДРВЭД, ДРВ и др.);
- 4) источники люминесцирующего действия (электролюминесцентные панели);
- 5) лазеры (жидкостные, газовые, твердотельные).

В тепловом источнике излучателем является тело, нагретое до высоких температур, протекающим по нему электрическим током. Оптическое излучение возникает за счет преобразования энергии теплового движения атомов и молекул тела в энергию электромагнитного излучения.

Характеристики источников ОИ подразделяются:

- 1) электрические: а) номинальное напряжение; в) номинальная мощность;
- 2) светотехнические: а) номинальный световой поток; в) спектр излучения;
- 3) эксплуатационные: а) световая отдача; в) срок службы; в) наработка на отказ;

Световая отдача характеризует экономичность лампы

$$\eta = \frac{\Phi}{P_n} . \quad (2.1.1)$$

Срок службы бывает: полный, средний, гарантированный.

Полный срок службы – суммарное время горения от момента включения до момента прекращения функционирования.

Средний срок службы – средняя продолжительность горения не менее 10 ламп.

Гарантированный срок службы – гарантированная заводом-изготовителем минимальная продолжительность горения лампы.

Наработка на отказ – суммарное время горения до отказа, т.е. до снижения потока ниже установленной нормы или до нуля вследствие перегорания или не зажигания.

2.1.2. Основные положения теории теплового излучения

Тепловое излучение в качестве основных действующих факторов имеет *температуру*.

Температурная характеристика плотности излучения, его спектрального состава, а также связь между способностями тела излучать и поглощать излучения устанавливаются основными законами теплового излучения, которые с целью упрощения теоретического описания процесса сформулированы применительно к абсолютно черному телу. Нужно сказать, что все тела делятся на три класса: абсолютно черные, серые и избирательные.

Под *абсолютно черным телом* понимают тело, поглощающее всю падающую на него энергию ($\rho = 0$, $\tau = 0$).

Если абсолютно черное тело рассматривать как источник ОИ, то это: тепловой излучатель, способный создавать при прочих равных условиях *наибольший* в сравнении с другими тепловыми излучателями поток излучения.

Исследованием процессов теплового излучения занимались ряд ученых (Кирхгоф, Михельсон, Вин, Планк, Стефан, Больцман).

Анализируя эти исследования, М. Планк получил эмпирическую формулу, связывающую *спектральную плотность энергетического излучения* с длиной волны и абсолютной температурой полного излучателя (формула Планка):

$$m_e(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5} [\exp(c_2/\lambda T) - 1]^{-1}, \quad (2.1.2)$$

где $m_e(\lambda, T)$ – спектральная плотность энергетического излучения полного излучателя, Вт/(м²·мкм); λ – длина волны, мкм; T – абсолютная температура, К; c_1 – постоянная ($c_1 = 2\pi \hbar c = 3,74 \cdot 10^8 \frac{\text{Вт} \cdot \text{м}}{\text{м}^2 \cdot \text{мкм}^4}$); $c_2 = \frac{\hbar c}{\kappa} = 1,43 \cdot 10^4$ мкм · К, где κ – const Больцмана; \hbar – const Планка; c – скорость света.

Кривые спектральной плотности энергетического излучения полного излучателя для различных значений абсолютной температуры, построенные по (2.1.2) имеют вид:

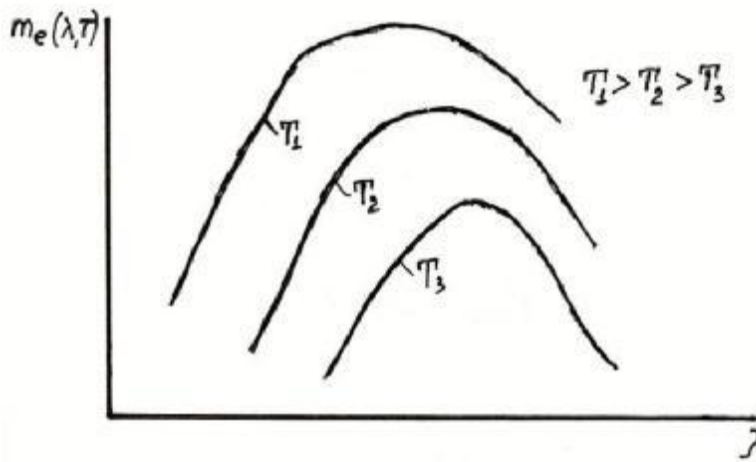


Рис. 2.1.1. Зависимость спектральной плотности энергетической

Положение максимума кривой спектральной плотности энергетического излучения можно определить, продифференцировав (2.1.2) по λ и приравняв ее нулю. В результате получим *закон Вина*:

$$\lambda_{\max} T = 2896 \text{ (мкм} \cdot \text{K)}. \quad (2.1.3)$$

Закон смещения Вина устанавливает взаимосвязь между абсолютной температурой полного излучателя и длиной волны, при которой спектральная плотность энергетического излучения облучателя имеет максимум.

Из закона Вина следует, что чем выше температура, тем короче длина волны, при которой достигается максимальное значение спектральной плотности энергетического излучения.

Стефан экспериментально, а Больцман теоретически установили взаимосвязь между интегральной плотностью излучения полного излучателя и его температурой. Плотность излучения полного излучателя может быть получена интегрированием (2.1.2) в пределах от 0 до ∞

$$M_{e0} = \int_0^{\infty} m_e(\lambda, T) d\lambda = c_1 \int_0^{\infty} \frac{\lambda^{-5}}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1} = \delta T^4, \quad (2.1.4)$$

где $\delta = 5,672 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$ – постоянная; T – абсолютная температура.

Другими словами, *закон Стефана-Больцмана*:

$$M_{e0} = \delta T^4. \quad (2.1.5)$$

Кирхгоф установил взаимосвязь между постоянными излучения и интегральными коэффициентами поглощения тел с одинаковой температурой:

$$\frac{M_{e1}}{M_{e2}} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2}, \text{ при } T = \text{const}, \quad (2.1.7)$$

где $M_{e1} = \frac{d\Phi_1}{dS_1}$ – плотность излучения первого тела (энергетическая светимость); α_1 – коэффициент поглощения этого тела; M_{e2} , α_2 – то же для второго тела.

Формула (2.1.7) носит название закона Кирхгофа. Из закона Кирхгофа следует, что для всех тел, имеющих одинаковую температуру, отношение плотности излучения к коэффициенту поглощения – величина постоянная, равная плотности излучения абсолютно черного тела

$$\frac{M_{e_1}}{\alpha_1} = \frac{M_{e_2}}{\alpha_2} = \dots const = M_{e_0} \quad [\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}]. \quad (2.1.8)$$

2.1.3. Лампы накаливания общего и специального назначения

Прототипом современных ламп накаливания является источник света, предложенный русским изобретателем А.Н. Лодыгиным. Он поместил угольный стержень в стеклянный баллон, из которого кислород удаляется за счет сгорания части угля при прохождении через него тока, благодаря чему оставшаяся часть угля работала относительно долго. Затем американский изобретатель Т.А. Эдисон создал лампу серийного производства, применив для тела накала угольную нить, полученную обугливанием длинных бамбуковых волокон, а также предложил откачку воздуха из баллона. В 1903 году впервые появились образцы вольфрамовых ламп накаливания.

В настоящее время существует более 1600 наименований ламп, имеется огромное количество их типов: судовые, проекционные, железнодорожные, прожекторные, осветительные общего назначения, сигнальные и т.д.

Длительность и массовость применения л.н. обусловлены относительно низкой стоимостью, удобством в обращении, простотой в обслуживании, малыми первоначальными затратами при оборудовании осветительных установок, разнообразием конструкций, напряжений и мощностей, высоким уровнем механизации производства.

а) лампы накаливания общего назначения

Лампа накаливания (рис.2.1.2) состоит из стеклянной колбы 1; тела накала 2, выполненного из вольфрамовой проволоки; молибденовых крючков 3, которые придают определенную форму телу накала и препятствуют его провисанию; электродов из никеля 4, служащих для подачи напряжения на тело накала; стеклянного стержня (штабика) 6, в верхней части которого имеется утолщение (линзочка) 5, куда впаяны крючки; полого цилиндра 10 с опресованной верхней частью (лопаткой) 7, в которой соединены штабик, электроды и откачная трубка 9 с отверстием 8; цоколя, состоящего из металлического стакана с резьбой 12, к которому припаян один из электродов и контактной шайбы 13 с припаянным вторым электродом. Контактная шайба крепится к стакану стекломассой 11, цоколь соединен с колбой специальной мастикой.

Главной частью лампы накаливания является тело накала, которое может представлять собой нить, спираль, биспираль, триспираль, имеет разнообразные размеры и форму.

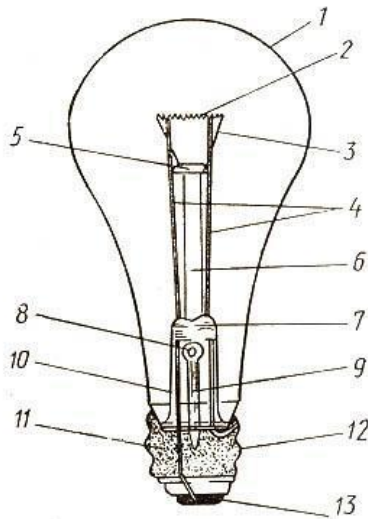


Рис.2.1.2. Устройство лампы накаливания общего назначения

Тело накала выполняют из вольфрама (температура плавления 3650 ± 50 К). Для обеспечения нормальной работы раскаленного вольфрамового тела накала необходимо изолировать его от кислорода воздуха. Для этого тело накала размещают либо в безвоздушной среде (вакуумные лампы), либо в среде инертных газов или их смесей, не реагирующих с материалом тела накала (газонаполненные лампы). У вакуумных ламп воздух откачан до давления $1,33 \cdot 10^{-3}$ Па, рабочая температура тела накала $2400 \dots 2600$ К. У газонаполненных ламп колба заполнена смесью аргона или криптона с азотом (14...16%) до давления 100 кПа. Наличие в колбе тяжелых инертных газов и более высокое давление позволяют повысить температуру тела накала до 2700 (аргон) ... 2800 (криптон) К без увеличения расхода материала тела накала. Азот служит электрическим изолятором – исключает электрический пробой между витками спирали, аргон - теплоизолятор, снижает потери энергии на нагревание газа и колбы. Криптон и ксенон, как теплоизоляторы эффективнее аргона, но они дороже.

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

В зависимости от конструктивного исполнения лампы накаливания общепромышленного назначения обозначаются условно (по ГОСТ 2239-79):

В – вакуумные, мощности до 25 Вт;

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

Б – биспиральные аргоновые (40...200 Вт);

БК – биспиральные с криптоновым наполнением (40...100 Вт).

Излучение видимой части спектра в общем энергетическом балансе этих ламп составляет:

Вид лампы	Доля видимого излучения в общем балансе, %
Вакуумные	7
Газонаполненные моноспиральные	10
Газонаполненные биспиральные	12
Биспиральные криптоновые	13

В маркировке ламп также указывается диапазон напряжений:

127 В 220 В 225 В 235 В 240 В 250 В
125-130 В 215-225 В 220-230 В 230-240 В 235-245 В 245-255 В

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

Например, при увеличении напряжения питания на 2 %, мощность лампы возрастает на 3 %, световой поток – на 7 %, световая отдача – на 4 %, а срок службы снижается на 25 %.

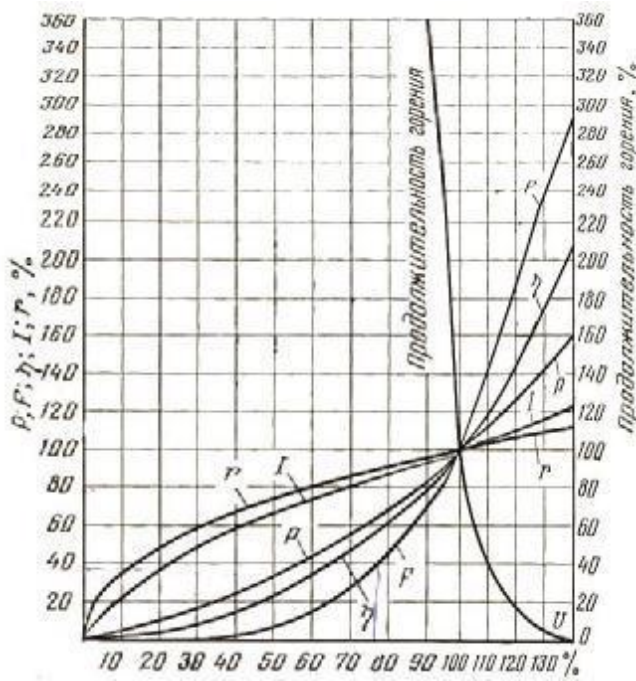


Рис. 2.1.3. Зависимость основных характеристик ламп накаливания от напряжения

Из рис. 2.1.3 можно получить следующие эмпирические зависимости баланса энергии ламп накаливания

а) для тока:

$$\frac{I}{I_o} = \left(\frac{U}{U_o} \right)^{0,33}; \quad (2.1.9)$$

б) для мощности:

$$\frac{P}{P_o} = \left(\frac{U}{U_o} \right)^{1,6}; \quad (2.1.10)$$

в) для потока:

$$\frac{\Phi}{\Phi_o} = \left(\frac{U}{U_o} \right)^{3,6}; \quad (2.1.11)$$

г) для световой отдачи:

$$\frac{\eta_v}{\eta_{v_0}} = \left(\frac{U}{U_o} \right)^2; \quad (2.1.12)$$

д) для срока службы:

$$\frac{\tau}{\tau_o} = \left(\frac{U}{U_o} \right)^{-(11,2+14,8)} \quad (2.1.13)$$

2.1.1. Баланс энергии ламп накаливания

Составляющие баланса, %	Вакуум- ная л.н.	Моноспи- ральная арго-	Биспираль- ная аргоно-	Криптоно- вая и ксено-
----------------------------	---------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------

		новая л.н.	вая л.н.	новая л.н.
Видимое излучение, %	7	10	12	13
Невидимое излучение, %	91	68	74	76
Потери на нагрев держателей и электродов, %	2	3	2	2
Потери в газе, %	0	19	12	9
	100	100	100	100

2.1.4. Способы повышения световой эффективности и перспективы совершенствования ламп накаливания

Из анализа законов Планка и Стефана-Больцмана можно заключить:

1) лучистый поток, излучаемый полным излучателем, резко возрастает с увеличением абсолютной температуры;

2) при повышении температуры полного излучателя максимум кривой спектральной плотности энергетической светимости смещается в сторону коротковолновой части спектра;

3) при изменении абсолютной температуры в пределах от 4700 до 10000 К максимум кривой спектральной плотности энергетического излучения смещается в сторону коротковолновой части спектра.

Доля светового потока, в общем потоке излучения, оценивается *световой эффективностью (световым к.п.д.)*

$$V = \frac{\Phi}{\Phi_e} 100\% = \frac{680 \int_0^{\infty} \varphi(\lambda) K(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} \varphi(\lambda) d\lambda} \quad (2.1.14)$$

где $\varphi(\lambda)$ – спектральная плотность лучистого потока; $K(\lambda)$ – относительная спектральная световая чувствительность.

Световая эффективность полного излучателя зависит от температуры (см. рис. 2.1.4)

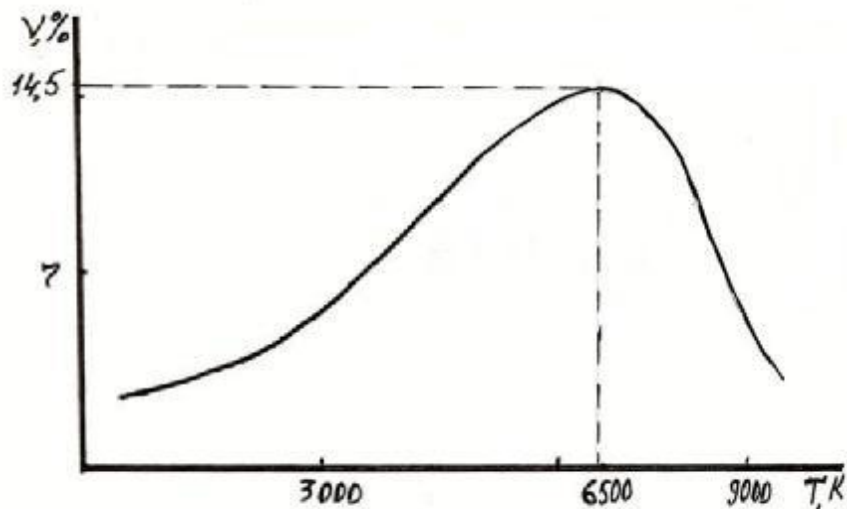


Рис. 2.1.4. Световая эффективность полного излучателя в зависимости от температуры

Реальные излучатели (вольфрам) имеют температуру плавления 3665 К, при этом $V_o = 2...3\%$ для абсолютно черного тела.

Рассмотренные соотношения характеризуют излучение абсолютно черного тела (полного излучателя). Для оценки излучения реальных тел (металлов) пользуются понятием *спектрального коэффициента излучения*

$$\varepsilon(\lambda, T) = \frac{m_e(\lambda, T)}{m_e(\lambda, T)_0}, \quad (2.1.15)$$

где $m_e(\lambda, T)$ – спектральная плотность энергетического излучения данного металла; $m_e(\lambda, T)_0$ – то же для абсолютно черного тела (полного излучателя).

В реальных условиях $\varepsilon(\lambda, T)$ всегда < 1 .

Для определения лучистого потока, излучаемого реальным телом, вводят понятие *полного (интегрального) коэффициента излучения*, определяемого отношением интегральной плотности энергетического излучения данного тела и полного излучателя

$$\varepsilon(T) = \frac{M_e}{M_{e_0}}, \quad (2.1.16)$$

где M_e – интегральная плотность энергетического излучения излучающего тела, Вт/м²; M_{e_0} – то же для полного излучателя.

Из рассмотрения кривых спектральных плотностей энергетической светимости полного излучателя и вольфрама (рис. 2.1.5) при $T = 2450$ К видно, что излучение вольфрама при данной температуре меньше, чем излучение полного излучателя, но максимум его кривой излучения смещен в сторону видимых излучений, что обуславливает рост кривой спектрального коэффициента излучения $\varepsilon(\lambda, T)$ в видимой части спектра. Эта особенность является ценнейшим свойством металла, вследствие которого его световая

эффективность (V) для всех температур, меньших температуры плавления, выше световой эффективности полного излучателя.

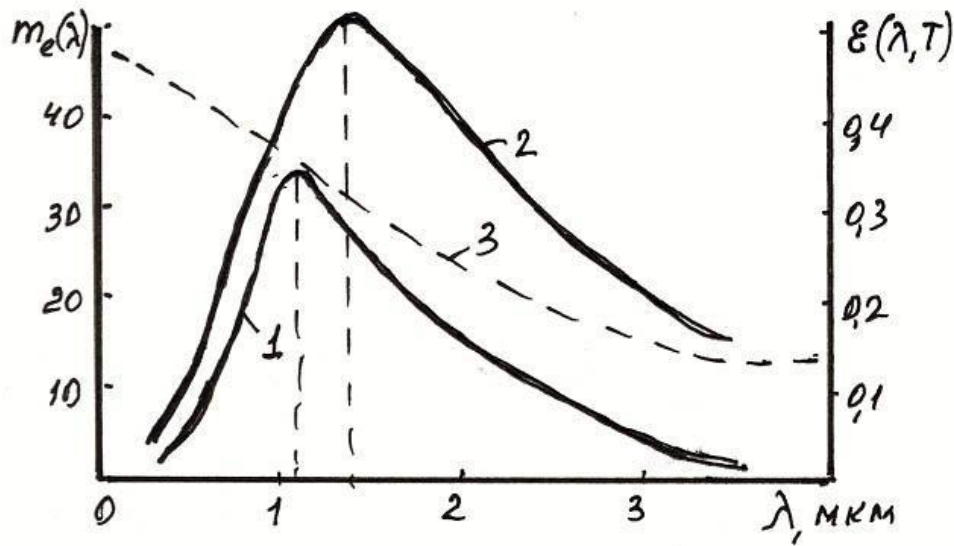


Рис. 2.1.5. Спектральная плотность энергетической светимости вольфрама и полного излучателя при $T=2450$ К.

1–спектральная плотность энергетической светимости вольфрама; 2 –

Так, например, если сравнить полный излучатель и вольфрамовое тело накала:

Излучатель	Световая отдача, лм/Вт	Световой кпд, % (световая эффективность)
1) полный излучатель		
а) $T = 6500$ К	99	14,5
б) $T = 3665$ К	34	5
2) вольфрам при плавлении ($T = 3665$ К)	55	8,1

Резервы совершенствования лампы накаливания далеко не исчерпаны, о чем свидетельствует значительный разрыв между теоретически возможной световой отдачей вольфрама (55 лм/Вт) и фактической световой отдачей современных ламп накаливания общего назначения (19,5 лм/Вт) и галогенных (34 лм/Вт).

Для повышения качества лампы накаливания необходимо: 1) *увеличение критических потерь массы тела накала* (в современных л.н. они равны – 8 ... 12 % для моноспиральных и 4... 8 % у биспиральных); 2) *сокращение дисперсии лампы накаливания по сроку службы*; 3) *повышение качества электрической энергии* (стабильность напряжения).

Для реализации указанных резервов необходимо сосредоточить внимание на следующих конкретных направлениях работы:

- 1) улучшение условий функционирования вольфрамового тела накала;
- 2) создание новых, оптимальных марок и режимов производства вольфрама;
- 3) повышение технического и организационного уровня производства лампы накаливания;
- 4) повышение вибрационной и ударной прочности лампы накаливания;
- 5) поиск новых материалов для тела накала, обеспечивающих существенное повышение световой отдачи за счет селективности излучения или более высокой рабочей температуры;
- 6) разработка лампы накаливания с улучшенным характером распределения излучения по спектру, в том числе за счет интерференционированных пленок на колбе; повышение световой отдачи за счет возврата ИК излучения обратно на тело накала;
- 7) создание новых материалов для оболочек – стекла, легированного кварца, прозрачной керамики, жаропрочных пленок, пластмасс для цоколей, изоляторов и, возможно, колб;
- 8) разработка возвратных (регенеративных) циклов галогенных ламп.

2.2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА В ГАЗАХ И ПАРАХ МЕТАЛЛОВ

2.2.1. Электрический разряд в газах и парах металлов

Характер электрического тока в газовой среде отличается от тока в металлах и электролитах. Электрический пробой газа и протекание, в результате этого, тока отличается также от аналогичного явления в диэлектриках. В диэлектрике электрический пробой приводит к его разрушению или превращению полностью или частично в проводник или в полупроводник. Газ же восстанавливает свои свойства при снятии электрического поля.

Характер и механизм электрического разряда в газах и парах металлов зависят главным образом от: а) *свойств среды*; б) *приложенного напряжения*; в) *плотности тока*.

Инициатором тока в электрической цепи, содержащей газовый промежуток, являются электроны, которые должны переходить с поверхности катода в газ, а из газа – в анод. Выход электрона с поверхности твердого проводника требует затраты энергии на преодоление потенциального барьера, существующего на границе между электродом и газом. Эту энергию называется «*работой выхода*», измеряемой в электронвольтах (эВ) и она зависит от материала поверхности катода, его температуры и природы газа. При попадании электронов на поверхность анода, часть их энергии расходуется на его нагрев. Уменьшение работы выхода электронов с поверхности катода можно достичь следующими мерами:

- 1) подогреванием электродов (температурная эмиссия);
- 2) покрытием катода активирующим веществом, повышающим эмиссионные свойства катода;
- 3) напряженностью поля (автоэлектронная эмиссия).

Процесс прохождения электрического тока в газовой среде называют *электрическим разрядом*. Характер и механизм электрического разряда в газе или парах металла существенно зависит от плотности разрядного тока, которая определяется свойствами среды, приложенным напряжением, а также давлением газа или паров металла.

Различают три основные формы разряда:

- *тихий разряд* (плотность тока j до 10^{-6} А/см²);
- *тлеющий разряд* ($j = 10^{-4} \dots 10^{-2}$ А/см²)
- *дуговой разряд* (j – десятки и сотни А/см²).

Рабочим режимом источников излучения является дуговой разряд.

Таким образом, дуговой разряд это самостоятельный устойчивый разряд с высокой плотностью тока j).

Статическая вольтамперная характеристика газоразрядного промежутка имеет следующий вид (рис.2.2.1):

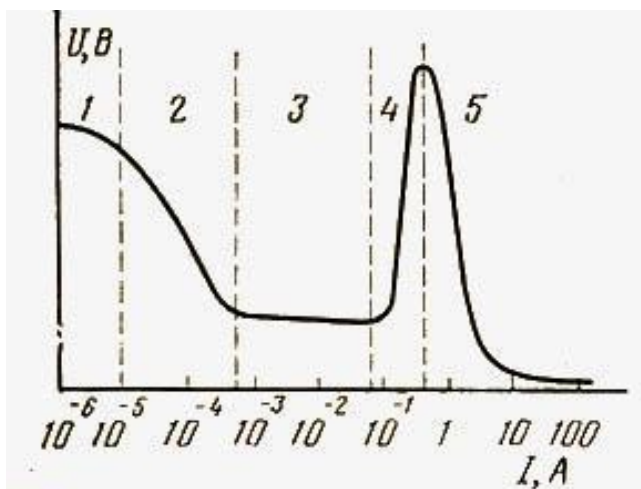


Рис. 2.2.1. Статическая вольтамперная характеристика газоразрядного промежутка: 1 – тихий разряд; 2 – переходная область; 3 – тлеющий (нормальный разряд); 4 – тлеющий аномальный разряд; 5 – дуговой разряд

2.2.2. Механизм возникновения оптического излучения при газовом разряде

При определенном значении напряжения между электродами (катодом и анодом) лампы возникает газовый разряд. По физической природе столб разряда представляет собой низкотемпературную *плазму*, т.е. газ или пар, состоящий из нейтральных атомов и содержащий «примесь», электронов и положительных ионов. Внешнее электрическое поле вызывает ускоренное движение электронов. В результате различного рода соударений (преимущественно упругих) с атомами, электроны передают им энергию и резко меняют направление перемещения. Величина передаваемой энергии мала из-за большой разности масс атомов и электронов, а движение электронов хаотично. В результате «электронный газ» нагревается до нескольких тысяч градусов Кельвина, в то время как температура газов нейтральных атомов, на которые электрическое поле не действует, лишь немногим превышает окружающую (для ламп низкого давления) температуру. В столбе разряда низкого давления основными процессами передачи являются возбуждение и ионизация атомов. Возбужденные атомы, возвращаясь в состояние с меньшей энергией, испускают избыток энергии в виде фотонов, которые покидая разряд, уносят энергию с собой.

В разряде низкого давления наибольший поток излучения сосредоточен в так называемых *резонансных линиях* (резонансное излучение), т.е. при длинах волн, соответствующих переходам возбужденных атомов из возбужденного состояния в основное невозбужденное (рис.2.2.2).

В термической плазме ламп высокого давления преобладает излучение *нерезонансных* спектральных линий.

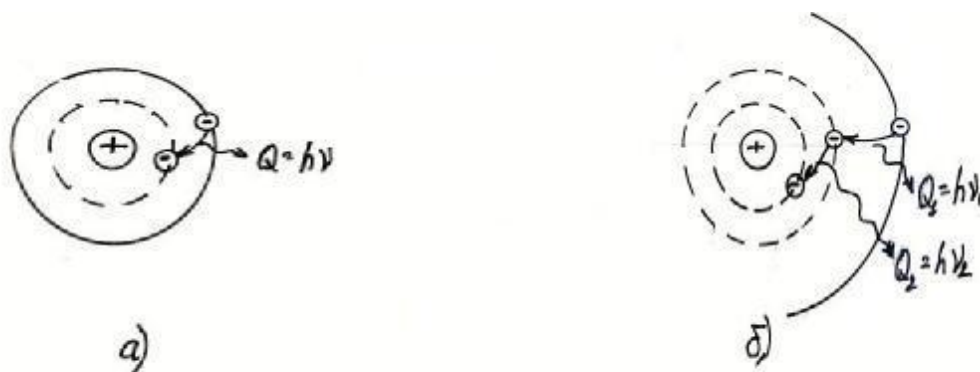


Рис. 2.2.2. Резонансное (а) и нерезонансное (б) излучение при электрическом разряде

Излучение газов и паров в газоразрядных лампах вызвано возбуждением атомов (или молекул) в разряде за счет *упругих* соударений с электронами. Возбужденные атомы за время $10^{-6} - 10^{-8}$ с возвращаются в состояние с меньшей энергией и при этом испускают избыток энергии в виде фотонов – электромагнитного излучения с частотой

$$\nu = \frac{(Q_1 - Q_2)}{h}, \quad (2.2.1)$$

где Q_1 , Q_2 – соответственно энергия начального и конечного состояния атома; h – const Планка, ($h = 6,626 \cdot 10^{-34}$) Дж·с.

Атомы каждого элемента имеют совершенно определенные, присущие только им энергии возбужденных состояний, и поэтому испускают только лишь фотоны определенной частоты.

Интенсивность отдельных линий зависит от давления, тока, диаметра трубки и т.д., но всегда имеется определенная совокупность линий, присущих только данному элементу. Характер спектра зависит от структуры внешней электронной оболочки атома. Чем больше электронов на внешней оболочке элемента, тем больше число линий в спектре. Спектры редкоземельных металлов настолько густо насыщены линиями, что производят впечатление сплошных.

В разряде с большой концентрацией свободных электронов (большая плотность тока, высокое давление) значительную интенсивность имеет сплошной спектр.

Таким образом, подбирая род газа или пара и условия разряда (давление, напряженность поля), мы можем получать различные спектры излучения с различным распределением интенсивности.

2.2.3. Стабилизация режима дугового разряда газоразрядных ламп

Энергия электрического тока, протекающего в трубке газоразрядного источника оптического излучения, расходуется на нагрев лампы до какой-то

расчетной оптимальной температуры, возбуждение атомов аргона и ртути, т.е. получение оптического излучения, ионизацию атомов и молекул.

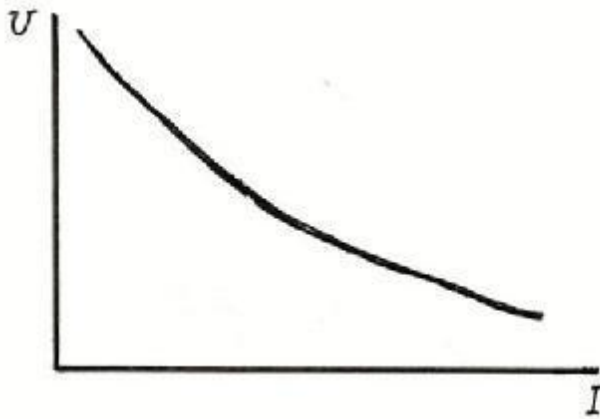


Рис.2.2.3. Вольтамперная характеристика дугового разряда

Ионизация атомов и молекул ведет к созданию электрически заряженных частиц (ионов, электронов) и лавинообразно увеличивает ток между электродами. Такой разряд называют *дуговым*. Все газоразрядные источники низкого, высокого и сверхвысокого давления работают в режиме дугового разряда. Его вольтамперная характеристика (ВАХ) имеет вид (рис.2.2.3).

Падающая ВАХ дугового разряда делает его неустойчивым. Если дуговой разряд не ограничивать, то из-за большого тока электроды лампы разрушаются.

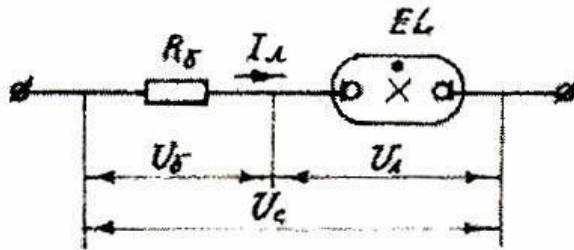


Рис.2.2.4. Схема включения газоразрядной лампы в сеть

Для ограничения тока в цепь питания последовательно с лампой включают сопротивление, которое называют *балластным сопротивлением* (рис.2.2.4).

Рассмотрим условия стабилизации дугового разряда при питании лампы от сети постоянного тока (балластное сопротивление должно быть активным) (рис.2.2.5).

Разряд будет протекать устойчиво, если

$$U_c = U_l + I_l R_b \quad (2.2.2)$$

$$R_b + \frac{dU_l}{dI_l} > 0 \quad (2.2.3)$$

где $\frac{dU_l}{dI_l} \equiv R_{diff} \equiv tg\beta$ — дифференциальное сопротивление разряда (эта величина отрицательная).

Пусть кривая 1 — вольтамперная характеристика газового промежутка, а линия 2 — вольтамперная характеристика балластного сопротивления.

Линия 3 получается как $U_c - U_b$, тогда $U_c - U_b$ должно равняться U_l . В точках А и В удовлетворяется первое из двух условий стабилизации разряда. Но лишь в точке В, для которой $tg\beta < tg\alpha = R_b$, удовлетворяются оба условия, т.е. устойчивый режим будет лишь в точке В. Это очевидно, т.к. возрастанию разрядного тока в точке А ничто не препятствует, т.е. при $I'_A = I_A + \Delta I$

имеем $U_c > U_l + I_l R_b$, что приводит к мгновенному ($\tau = 10^{-5}$ с) развитию разряда до состояния, характеризующего на графике точкой В. Дальнейшее увеличение разрядного тока невозможно, т.к. при $I'_B = I_B + \Delta I$ получаем $U_l + I_l R_b > U_c$.

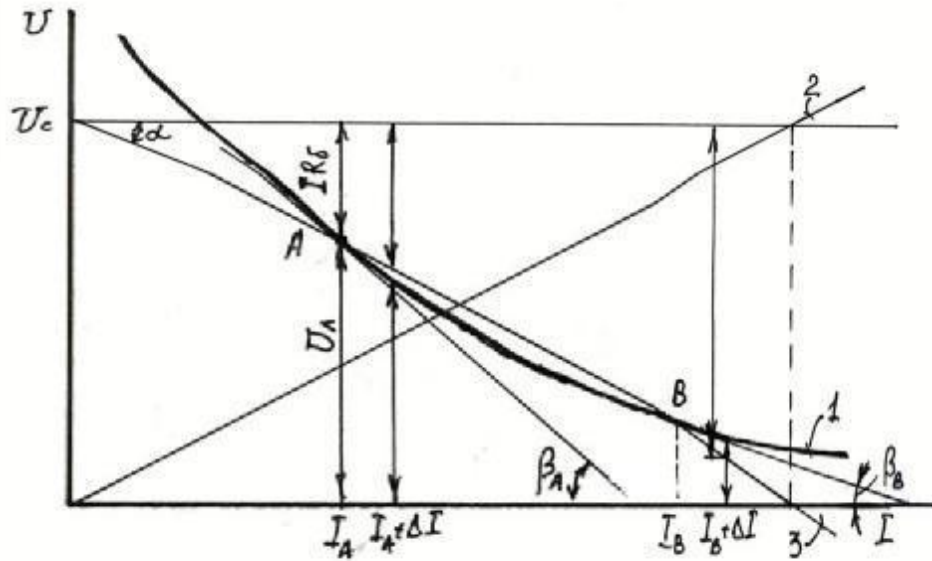


Рис. 2.2.5. Условия стабилизации разрядного тока при активном балластном сопротивлении

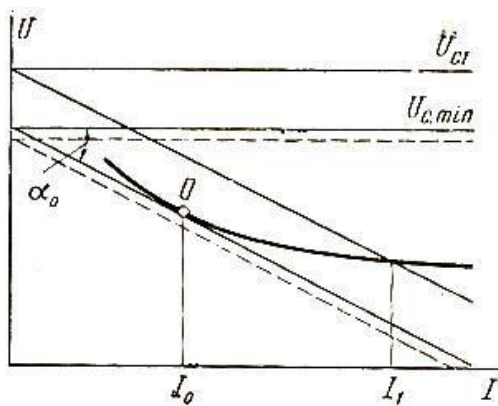


Рис.2.2.6. Определение минимально возможного значения активного сопротивления при заданном разрядном токе

При известной ВАХ лампы величину балластного сопротивления выбирают из уравнения (2.2.3). Необходимо стремиться к выбору минимально возможного сопротивления R_b , однако с уменьшением R_b ухудшается стабильность работы лампы. При понижении U_c разряд погаснет. Это сопротивление можно определить графически (рис.2.2.6). В точке 0 вольт-амперной характеристики, соответствующей заданному значению разрядного тока I_0 , проводится касательная до пересечения с осью ординат. Линия $U_{c\ min}$ характеризует наименьшее напряжение сети, а $\operatorname{tg} \alpha_0 \equiv R_{b\ max}$.

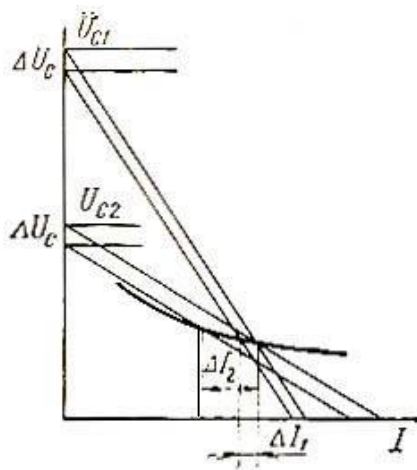


Рис.2.2.7. Влияние отклонения U_l/U_c на стабильность работы лампы

ком и напряжением на лампе, величина которого, вычисленная методом гармонического анализа составляет $\Psi = 14...20^0$.

С учетом изложенного, напряжение на элементах схемы можно связать следующей зависимостью

$$U_c^2 = U_0^2 + U_l^2 + 2U_l U_0 \cos(\psi + \delta), \quad (2.2.4)$$

где δ – угол, характеризующий собой тип балласта (угол потерь) $\delta = 0$ для индуктивного балласта и $\delta = \frac{\pi}{2}$ для активного балласта.

Расчет балластного сопротивления ведут методом построения круговой диаграммы (рис.2.2.9):

1) в I-м квадрате строят ВАХ дугового разряда лампы,

2) согласно выражению $\dot{U}_c = \dot{U}_l + \dot{I}_l R_0$ вектор тока в векторной диа-

грамме будет перемещаться по дуге, хордой которой является вектор \dot{U}_c .

При этом величина угла α между \dot{U}_l и \dot{U}_0 остается постоянной и равной

$$\alpha = \frac{\pi}{2} + \psi + \delta. \quad (2.2.5)$$

Зная \dot{U}_c и α , по хорде и противолежащему углу строится дуга окружности круговой диаграммы. Направление вектора тока определяется по углу λ между \dot{U}_0 и \dot{I}_l :

$$\lambda = \frac{\pi}{2} - \delta. \quad (2.2.6)$$

Стабильность работы лампы зависит от соотношения между напряжением сети \dot{U}_c и напряжением на лампе \dot{U}_l . Чем выше $\frac{\dot{U}_c}{\dot{U}_l}$, тем меньше влияет отклонение напряжения сети на ток лампы (рис.2.2.7):

В практике величину балластного сопротивления выбирают так, чтобы выполнялось условие $U_l \leq 0,65 U_c$.

Как показывают исследования, ток и напряжение на газоразрядных лампах несинусоидальные (рис.2.2.8).

Для практических расчетов фактическую несинусоидальность можно учесть введением некоторого сдвига фаз между то-

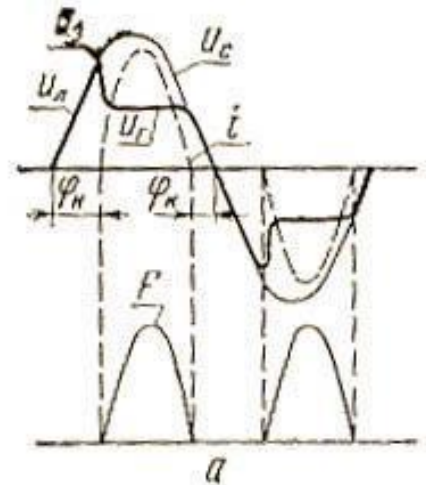


Рис.2.2.8. Осциллограммы мгновенных значений напряжения, тока и светового потока газоразрядной лампы

Фотолюминесценция - излучение вещества под воздействием энергии поглощаемого им оптического излучения (при этом длина волны излучения всегда больше длины поглощаемого оптического излучения).

По виду электрического разряда источники бывают:

- дугового разряда (плотность разрядного тока j_p = десятки, сотни А/см²);
- тлеющего разряда (плотность разрядного тока $10^{-2} \dots 10^{-4}$ А/см²;
- импульсного разряда.

Газоразрядные источники принципиально устроены, как показано на рис. 2.2.10.

Принцип действия электролюминесцентного источника оптического излучения следующий: под действием напряжения, приложенного к электродам, между ними протекает электрический ток (электроны, ионы). В начальный момент зажигания лампы электрический ток протекает только в среде аргона. С увеличением температуры испаряется ртуть и ток переходит на пары ртути.

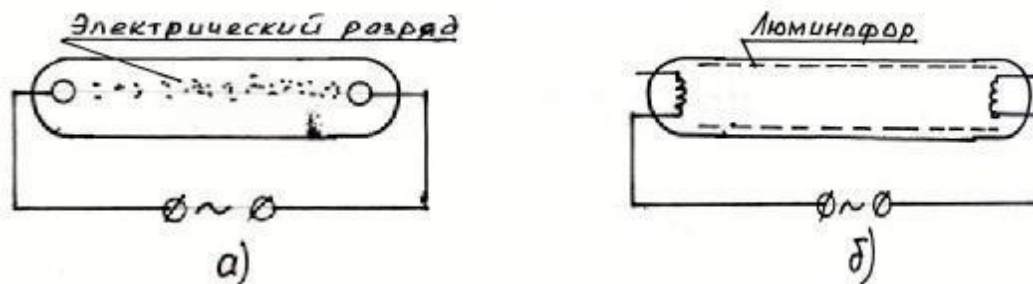


Рис.2.2.10. Устройство газоразрядных источников оптического излучения: а) – электролюминесцентный; б) – фотолюминесцентный источник

Электрическая энергия расходуется на нагрев, возбуждение, и ионизацию атомов и молекул аргона и ртути (и нагрев лампы). Нагрев испаряет ртуть и увеличивает температуру лампы до какого-то значения. Возбуждение аргона и ртути вызывает оптическое излучение (электролюминесценцию).

Спектр излучения зависит от давления в лампе (низкое давление $\lambda = 254$ нм, высокое – $\lambda = 248, 254, 265 \dots 277, 302 \dots 546$ и др.).

Ионизация атомов и молекул увеличивает электрический ток в трубке и если его не ограничивать, то лампа выйдет из строя из-за разрушения электродов.

Принцип действия фотолюминесценции: под действием напряжения, приложенного к электродам, между ними протекает электрический ток. Электроны и ионы, соударяясь с атомами ртути и аргона, возбуждают их. Аргон и ртуть (главным образом) испускают оптическое излучение, которое поглощается люминофором и преобразуется в более длинноволновое оптическое излучение, в частности – видимое.

2.3 ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ ЛАМПЫ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

2.3.1. Устройство и принцип действия газоразрядных ламп низкого давления

Люминесцентные лампы (л.л.) – газоразрядные источники низкого давления (давление ртути $\leq 1,5$ Па) представляют собой цилиндрическую колбу, закрытую герметически вваренными стеклянными ножками.

Электроды – биспиральные, вольфрамовые. Люминофор – галофосфат кальция с добавкой марганца и сурьмы.

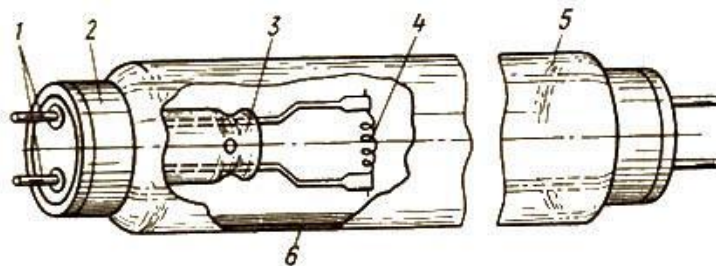


Рис.2.3.1 Устройство люминесцентной лампы: 1 – штырки; 2 – цоколь; 3 – стеклянная колба; 4 – биспираль; 5 – колба; 6 – слой люминофора

Аргон (давление 400 Па) – снижает распыление электродов, облегчает зажигание лампы.

Ртуть (давление 1,5 Па) (≈ 25 мг) – испускает УФ излучение с длиной волны 185 и 254 нм. Принцип действия – электролюминесцентный.

Баланс энергии лампы имеет примерно следующий вид (рис.2.3.2). Принцип действия : электро- и фотолюминесценция.

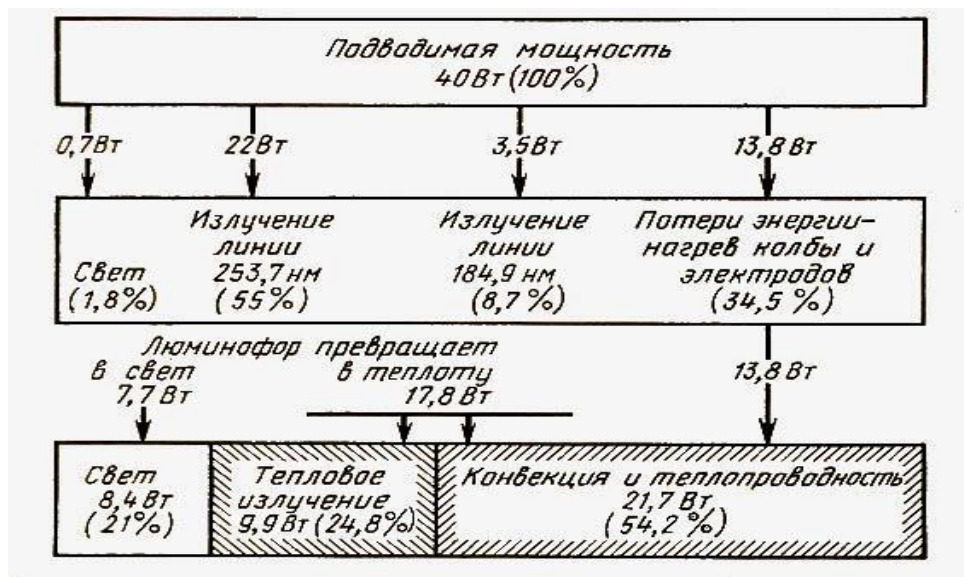
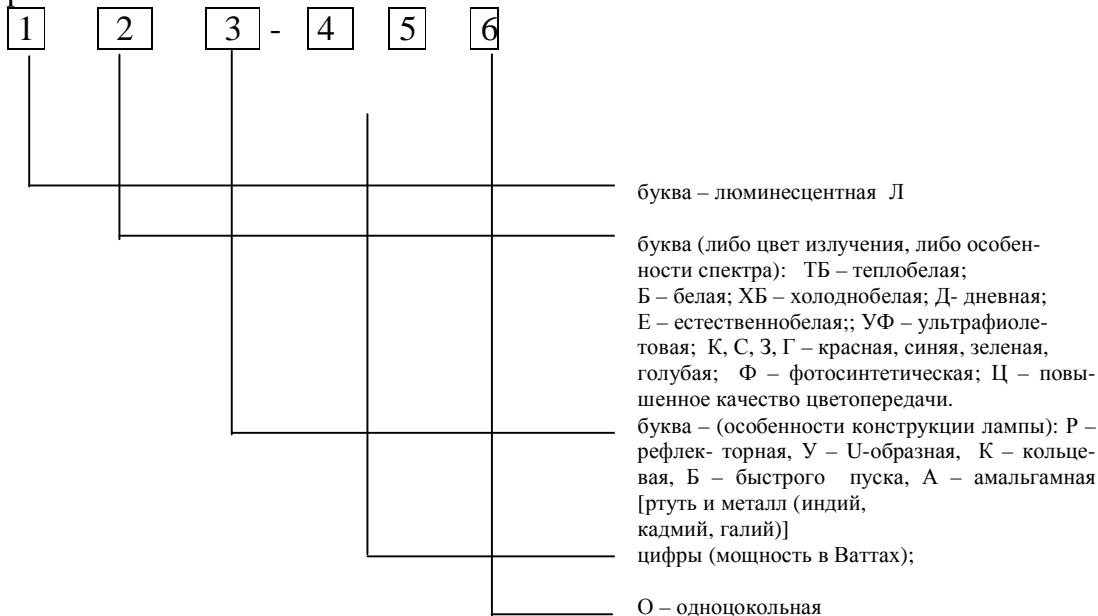


Рис.2.3.2. Баланс энергии люминесцентной лампы белого цвета

2.3.2. Основные характеристики и маркировка газоразрядных ламп низкого давления

Маркировка ламп основана на буквенном обозначении конструктивных признаков:



Люминесцентные лампы подразделяют на:

- 1) осветительные *общего назначения* (ЛБ, ЛТБ, ЛХБ, ЛД);
- 2) осветительные *с улучшенной цветопередачей* (ЛДЦ, ЛЕЦ, ЛТБЦ, ЛХЕЦ и др.);
- 3) люминесцентные лампы *специального назначения*;
 - а) малогабаритные (для местного освещения);
 - б) фигурные (V – образные, W – образные и кольцевые);
 - в) с направленным светораспределением (рефлекторные, щелевые);
- 4) цветные ЛЛ;
- 5) сигнальные малогабаритные (тлеющие ТЛГ и ТЛЖ и др.);
- 6) газосветные лампы (световая реклама) (ГР – 20 и т.д.).

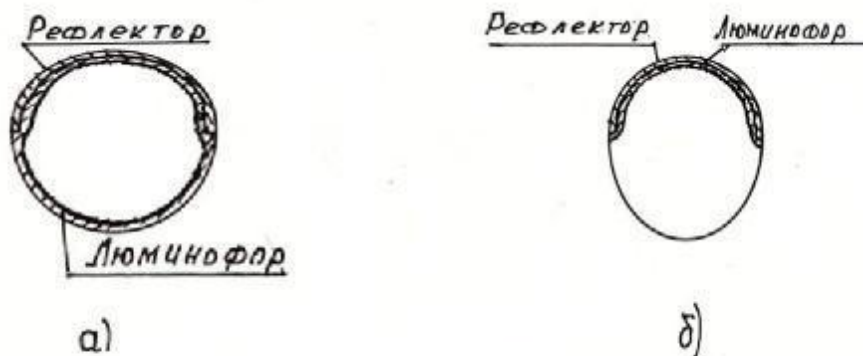


Рис.2.3.3. Конструкция рефлекторной (а) и щелевой (б) л.л.

Основные характеристики:

1) *электрические*: мощность и номинальное напряжение $U_{\text{ном}}$ для л.л. 127 В и 220 В (на лампе $0,55 \dots 0,65 U_{\text{ном}}$); $P_{\text{ном}} = 4, 5, 6, 8, 15, 20, 30, 40, 65, 80, 120, 150$ Вт;

2) *светотехнические*:

- *световой поток* (зависит от типа и мощности лампы) из-за распыления электродов, реакции люминофора с ртутью снижается на 25% - 40% к концу срока службы;

- *спектр излучения* заключен – в области 460...660 нм, лучше, чем у лампы накаливания (580 и далее);

- *пульсация светового потока* – обусловлена перезажигом лампы в каждый полупериод переменного тока.

Пульсация может вызвать стробоскопический эффект.

3) *эксплуатационные*:

- *световая отдача* ($\eta = 25 \dots 67,5 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$) - зависит от свойств люминофора и соотношения длины и диаметра трубки. К концу срока службы η снижается на 30...40%. Световая отдача характеризует экономичность лампы.

- *срок службы* - зависит от стойкости электродов. Средняя продолжительность горения более 5 тыс. часов. Выпускаются лампы со сроком горения 10...13 тысяч часов.

Значительное влияние на показатели работы люминесцентной лампы оказывают условия окружающей среды и величина питающего напряжения:

- повышение напряжения приводит к нагреву электродов и уменьшению срока службы $[(\Delta \tau \cong (\Delta U)^{3,2})]$;

- понижение напряжения приводит к увеличению количества срабатываний стартера.

Оптимальная рабочая температура окружающей среды $+15 \dots +40$ °С, при температуре < 10 °С лампы тяжело зажигаются (меры: теплоизоляция, включение по специальным схемам).

Влажность $\varphi = 75 - 80$ %, повышенная влажность влияет на напряжение зажигания.

Преимущества л.л. по сравнению с лампами накаливания:

- благоприятный спектральный состав излучения;
- высокая световая отдача (в 4...6 раз выше при одинаковой мощности);

- меньшая яркость;
- больший срок службы.

Недостатки л. л.:

- сложность схемы включения;
- малая единичная мощность;
- зависимость показателей работы от условий окружающей среды;
- пульсация светового потока;
- меньшая надежность в работе.

2.3.3. Особенности работы газоразрядной лампы в сети переменного тока. Влияние вида балластного сопротивления на работу газоразрядных ламп

Электрический разряд в газоразрядных лампах может протекать и при переменном напряжении. При этом, для стабилизации разряда могут быть использованы: 1) активное балластное сопротивление; 2) индуктивное балластное сопротивление; 3) емкостное балластное сопротивление.

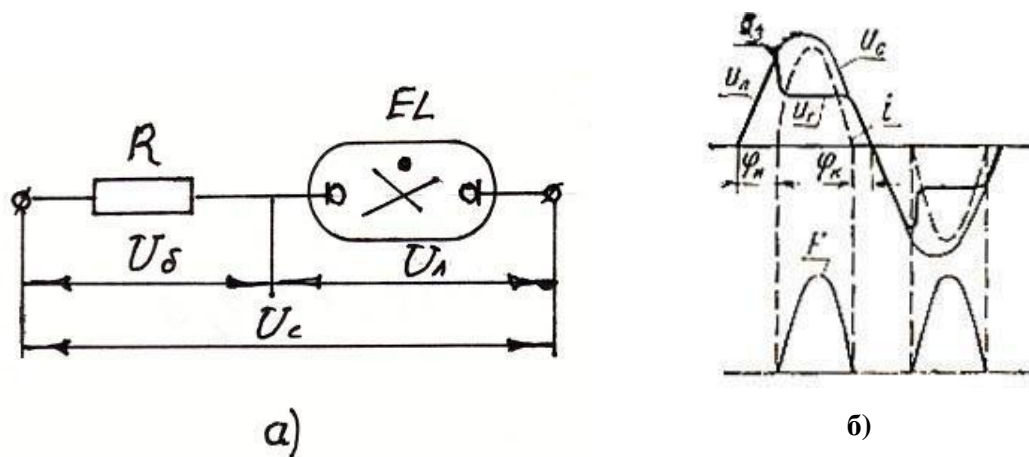


Рис.2.3.4. Схема включения (а) и осциллограммы мгновенных значений напряжения, тока и светового потока (б) при активном балласте

а) активное балластное сопротивление

Недостатки схемы с активным балластным сопротивлением:

1) расход электрической энергии в активном балласте; 2) наличие пауз тока приводит к пульсации светового потока, что может вызвать стробоскопический эффект.

б) индуктивное балластное сопротивление

Достоинства схем с индуктивным балластом: 1) облегчается процесс перезажига (благодаря сдвигу фаз); 2) уменьшение пауз тока, снижение пульсации светового потока; 3) уменьшение потерь мощности в балласте.

Недостатки схем с индуктивным балластом: 1) большой расход металла; 2) низкий $\cos\phi$; 3) большая стоимость (цветные металлы требуются).

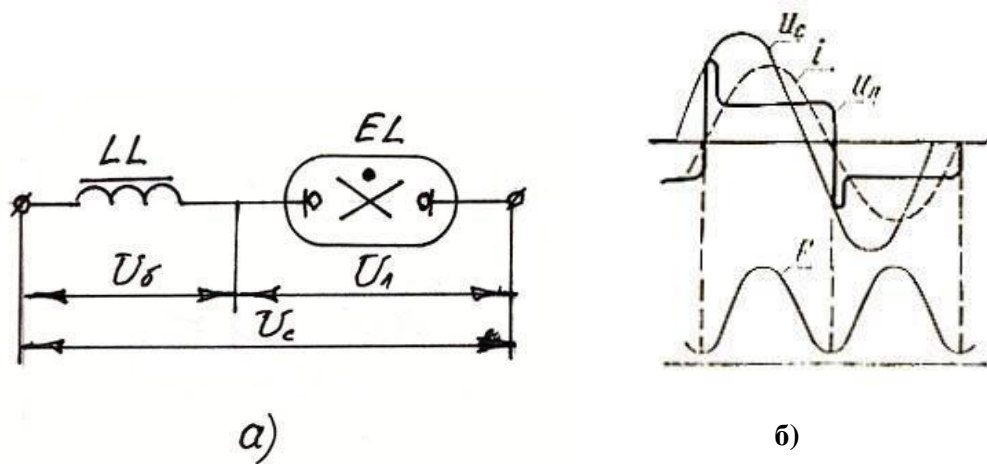


Рис.2.3.5 Схема включения (а) и осциллограммы мгновенных значений напряжение, тока и светового потока (б) при индуктивном балласте.

в) емкостное балластное сопротивление

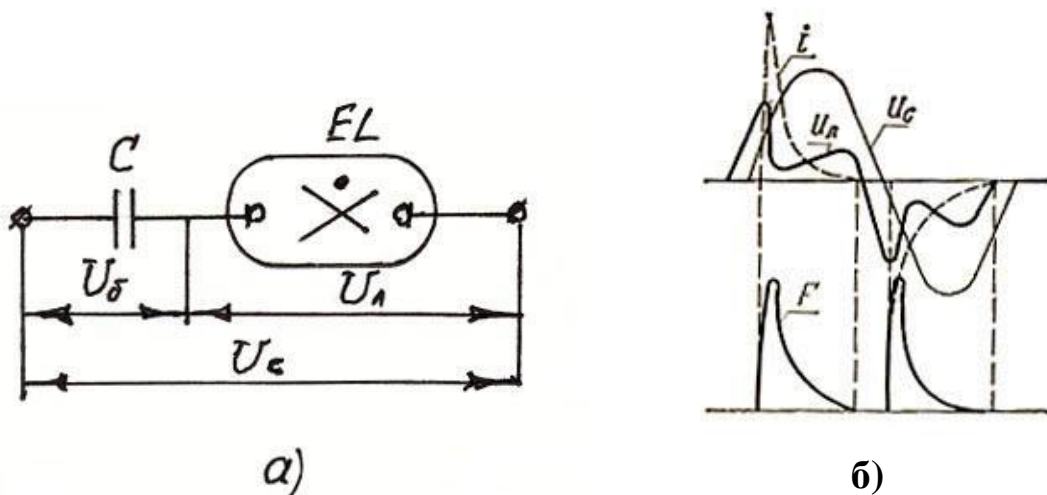


Рис.2.3.6. Схема включения (а) и осциллограммы мгновенных значений напряжение, тока и светового потока (б) при емкостном балласте

Емкостной балласт целесообразно использовать при питании на повышенной частоте.

При любом балластном сопротивлении сдвиг по фазе между I и U отсутствует. Однако мощность лампы не равна произведению действующих значений напряжения и тока, так как кривые мгновенных значений этих величин существенно отличаются от синусоид, и, следовательно, для вычисления истинного значения мощности разряда в межэлектродном промежутке необходимо разложить кривые тока и напряжения на гармонические составляющие. Поэтому пользуются термином «коэффициент искажения»

$$\kappa_a = \frac{P}{UI}. \quad (2.3.1)$$

Коэффициент искажения зависит от вида и величины балластного сопротивления и не является постоянным для данной лампы.

Обычно коэффициент искажения (в некотором смысле, коэффициент мощности) газоразрядных ламп составляет 0,7...0,9, а коэффициент мощности комплекта «газоразрядная лампа – балластное сопротивление» - 0,4...0,9.

2.3.4. ПРА и схемы включения газоразрядных ламп низкого давления

Пускорегулирующая аппаратура (ПРА) – это светотехническое изделие, с помощью которого осуществляется питание газоразрядных ламп (ГЛ) от сети, обеспечивающие необходимые режимы зажигания, разгорания и работы ГЛ.

1) зажигание ГЛ заключается в пробое межэлектродного промежутка и формировании в нем требуемого вида разряда;

2) разгорание ГЛ – процесс установления рабочих характеристик лампы после ее зажигания ($\tau = 3 - 5$ мин.);

3) устойчивость режима работы ГЛ заключается в способности контура автоматически восстанавливать исходное значение тока при его изменении (функция балласта).

Кроме этого ПРА служит также для:

а) компенсации реактивной мощности (установка конденсаторов);

б) подавления радиопомех (фильтры – конденсаторы малой емкости: доли микрофарады);

в) снижение пульсации светового потока ГЛ (например, включение по «расщепленной» фазе).

Основные параметры ПРА:

1) пусковые параметры:

а) форма, частота, действующее значение напряжения х.х. ($U_{х.х.}$);

б) напряжение $U_{пп}$ (или ток $I_{пп}$) предварительного подогрева;

в) форма, частота повторения, амплитуда и энергия зажигающих импульсов напряжения;

г) пусковой ток, обеспечиваемый ПРА при разгорании ГЛ.

2) рабочие параметры:

а) мощность лампы при включении с данной ПРА не должна быть менее 92,5 %

мощности этой же лампы при включении ее с дросселем образцовым измерительным (ДОИ);

б) потери мощности в ПРА составляют 5 – 40 % мощности ГЛ, уменьшаясь при ее увеличении;

в) тепловые характеристики ПРА определяются максимальной рабочей температурой обмоток $t_{\omega} = 105, 120$ или 130°C .

2) эксплуатационные параметры:

а) срок службы $\tau = 10$ лет;

б) масса, габариты, установочные размеры;

в) уровень шума (определяется по значению звуковой мощности. Различают ПРА с нормальным, пониженным и особо низким уровнем шума;

г) конструктивное исполнение (встроенные и независимые);

- д) род тока и частота напряжения питания;
- е) допустимые условия и режимы эксплуатации.

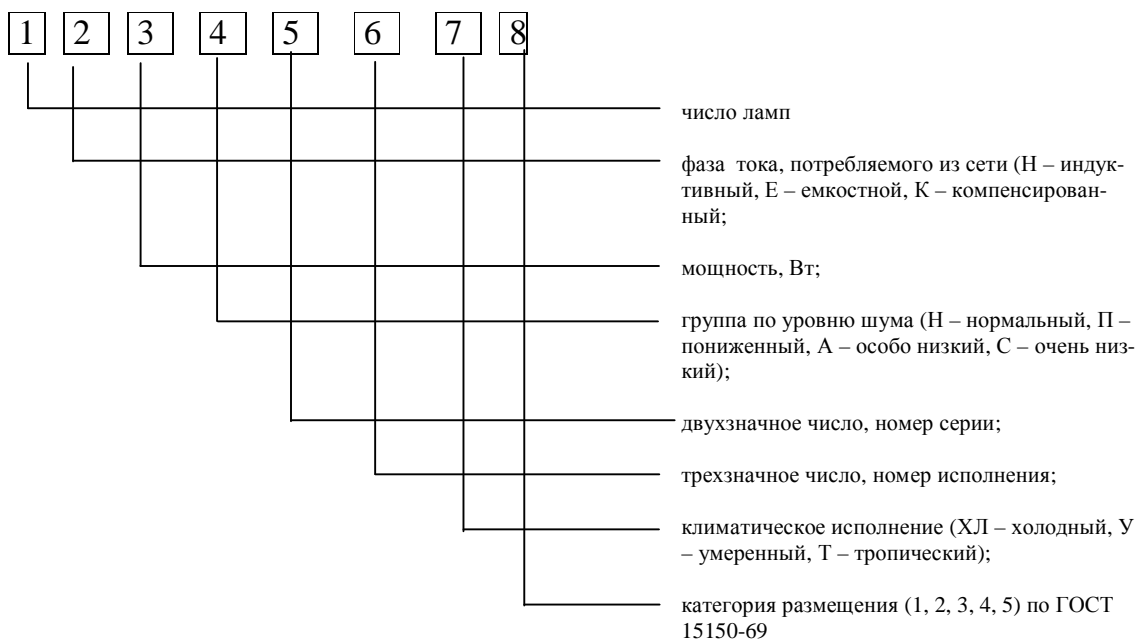
Классификация ПРА по условиям зажигания ГЛ и их работы:

- 1) зажигание ГЛ напряжением холостого хода:
 - а) при холодных электродах (ПРА мгновенного зажигания);
 - б) при предварительно подогретых электродах (ПРА быстрого зажигания);
- 2) зажигание ламп импульсом напряжения;
- 3) зажигание лампы на повышенной частоте.

Обозначение ПРА: (разработки до 1980 г.)



С 1980 г. для вновь разработанных ПРА используют новое обозначение (кроме ПРА для ГЛ тлеющего разряда, стартеры, полупроводниковые и импульсные зажигающие устройства):



Для ГЛ низкого давления (Л.Л.) используются следующие ПРА и схемы их включения

- 1) напряжением х.х.
 - а) быстрого зажигания (с предварительным подогревом электродов)
- безстартерные:

1) простейшая

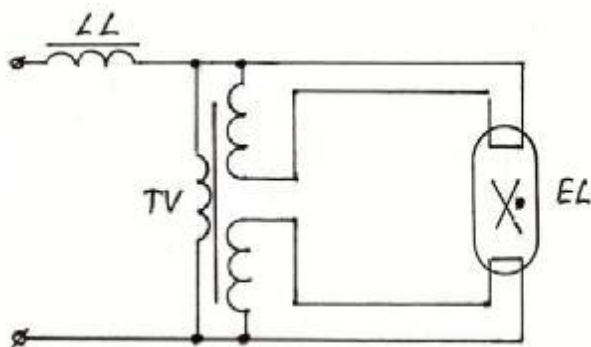


Рис. 2.3.7. Схема включения Л. Л. быстрого зажигания

2) резонансная

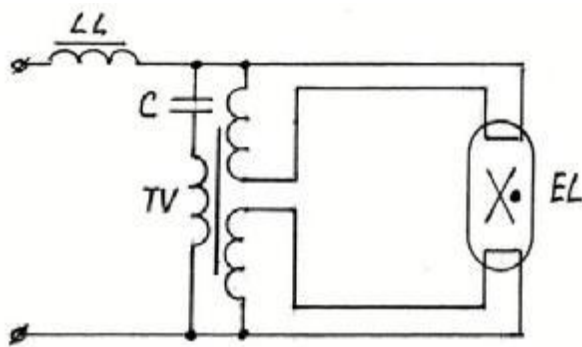


Рис. 2.3.8. Схема включения Л. Л. быстрого зажигания резонансная

б) мгновенного зажигания (без подогрева электродов)

а) резонансная

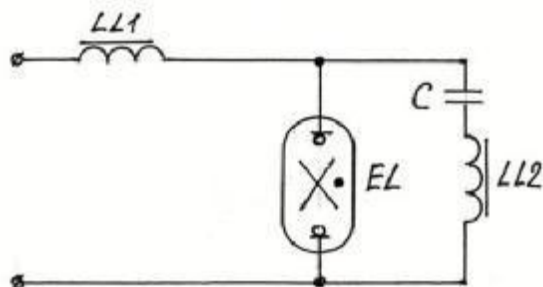


Рис.2.3.9. Схема включения л.л. мгновенного зажигания

б) комбинированная (автотрансформаторно-резонансная)

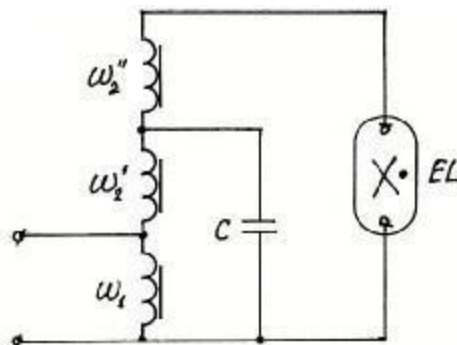


Рис. 2.3.10. Схема включения л.л. мгновенного зажигания комбинированная

Недостаток комбинированной схемы: 1) большие размеры автотрансформатора; 2) потери в ПРА до 30-40% от мощности лампы.

2) Зажигание лампы импульсом напряжения:

а) со стартером тлеющего разряда

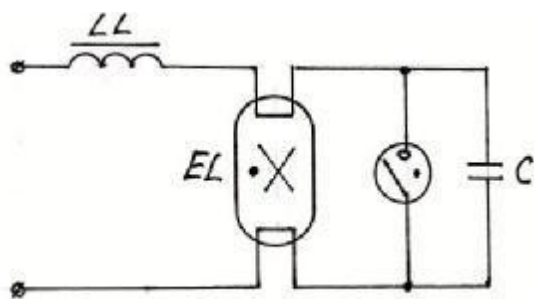


Рис. 2.3.11. Схема включения л.л. со стартером тлеющего разряда

б) с полупроводниковым стартером

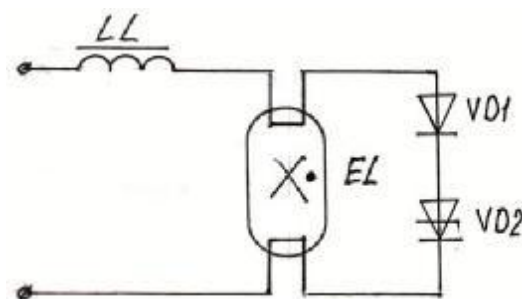


Рис. 2.3.12. схема включения л.л. с полупроводниковым

Динистор VD2 имеет напряжение включения лампы $1,25 U_c$, но больше, чем амплитудное значение рабочего напряжения на лампе U_L .

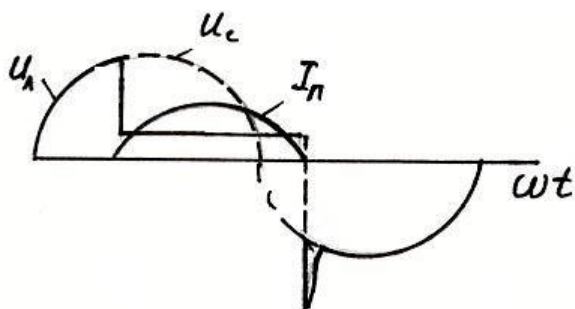


Рис. 2.3.13. Осциллограммы напряжений и тока при полупроводниковом стартере

3) Зажигание ламп на повышенной частоте (не нашло широкого применения из-за необходимости дорогостоящего преобразователя частоты ($f=400\dots3000$ Гц).

Тенденции совершенствования схем и конструкций ПРА:

1) *создание полупроводниковых балластов непрерывного* (рис.2.3.14) и импульсного (рис.2.3.15) действия.

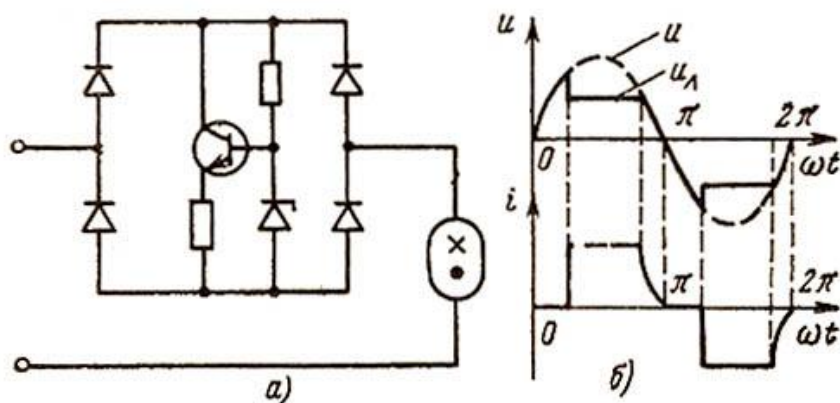


Рис.2.3.14. Включение ламп с полупроводниковым балластом непрерывного действия (а) и осциллограммы тока и напряжений (б)

Здесь транзистор работает в активной области и ограничивает ток лампы на заданном уровне, т.е. имитируется работа с активным балластом, которой присущи те же недостатки.

В течение каждого полупериода переменного напряжения лампа несколько раз подключается (при внутреннем сопротивлении балласта, практически равным нулю) и отключается от источника питания. КПД достигает 90 % и более;

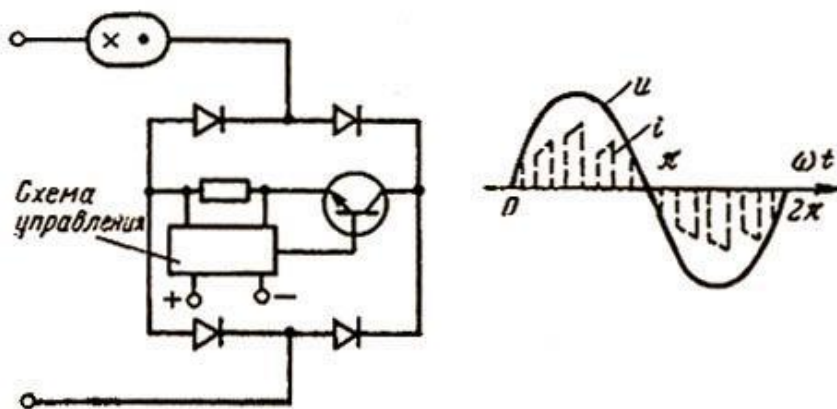


Рис. 2.3.15. Схема с широтно-импульсной модуляцией (а) и осциллограмма напряжений (б)

2) создание комбинированных схем, которые наряду с полупроводниковыми содержат элементы традиционных ПРА;

3) создание трехфазных схем с электромагнитными ПРА (типа звезда без нейтрального провода) с индивидуальными или групповыми балластами;

4) совершенствование конструкции и технологии производства электромагнитных ПРА (конструирование дросселей с увеличенным отношением длины витка обмотки к длине магнитной линии, что позволяет уменьшить расход обмоточного материала, принять более дешевые сорта стали, сократить трудоемкость изготовления, понизить уровень шумов и разброс параметров дросселей.

2.4. ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ ЛАМПЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

2.4.1. Устройство, принцип действия и основные характеристики газоразрядных ламп высокого давления (ДРЛ, ДРИ, ДНаТ, ДКсТ и др.)

1. Лампы типа ДРЛ: ДР – дуговая ртутная; Л – люминесцентная; цифра после букв – мощность в Вт и далее в скобках указывается «красное отношение» в %, а через дефис – номер разработки (ДРЛ 250(10) – 1)).

«Красное отношение» $\Phi_{\lambda} = \frac{600 - 700_{\text{нм}}}{\Phi_{\Sigma}} 100\%$;

Для ламп ДРЛ – красное отношение бывает 6, 10, 15% .

Лампы ДРЛ (рис.2.4.1) могут быть двух-электродные и четырехэлектродные (рис.2.4.2).

Период разгорания лампы 3 – 7 минут. За период разгорания происходит нагревание горелки и испарение ртути. Давление, паров ртути, повышается, и изменяются характеристики. Напряжение повышается с 25 ... 30В до 115...145В, ток уменьшается в 2...2,6 раза. При погасании лампы можно зажигать после того, как она остынет (через 10...15 минут).

Принцип действия – электро- и фотолюминесценция. Излучение ртути – нерезонансное и содержит длины волн от $\lambda = 248$ нм до $\lambda = 546$ нм. УФ излучение ртути поглощается люминофром и преобразуется в видимое.

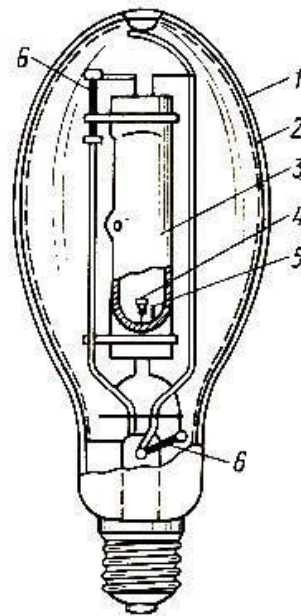


Рис. 2.4.1. Устройство лампы ДРЛ

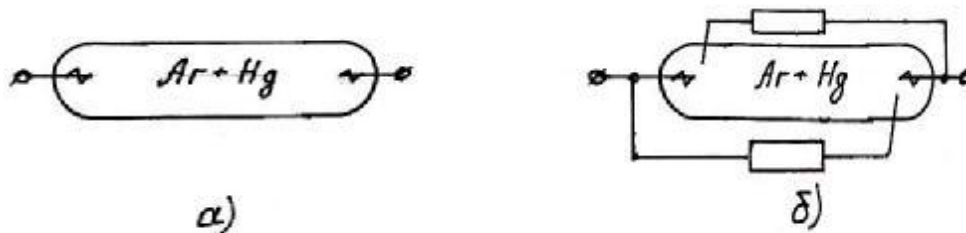


Рис.2.4.2. Двух (а) и четырёхэлектродная (б) лампы

Основные характеристики:

1) *электрические*

- номинальное напряжение 220 В, 380 В;
- номинальная мощность 50, 80, 125, 250, 400, 700, 1000, 2000 Вт;

2) *светотехнические*

- световой поток зависит от мощности ламп, снижается к концу срока службы на 25 – 30 % ;
- спектр излучения содержит длины волн с $\lambda \leq 580$ нм;

- пульсация светового потока $K_{\text{п}}$ = до 75 % (т.к. большая доля светового потока получается в результате электролюминесценции, а не люминофором (по сравнению с л.л.);

3) эксплуатационные

- световая отдача $\eta = 40 \dots 58,5$ лм/Вт;

- срок службы $\tau = 6 - 15$ тыс. часов.

Разновидностью ламп ДРЛ являются ртутно-вольфрамовые лампы типа ДРВ. Эти лампы включают в сеть ~220В без балласта. В качестве активного балластного сопротивления таких ламп используется смонтированная в колбе вольфрамовая спираль, которая одновременно излучает видимое излучение. Световая отдача $\eta = 18 \dots 28$ лм/Вт; «Красное отношение» - 10–13% , срок службы $\tau = 3 \dots 5$ тыс. часов.

Преимущества ламп ДРВ: 1) благоприятный спектр излучения, 2) отсутствие ПРА.

Недостатки ламп ДРВ: 1) снижение в 1,8...2 раза световой отдачи и срока службы, 2) возрастание коэффициента пульсации (стробозэффект).

2. Металлогалогенные лампы типа ДРИ

ДР – дуговая ртутная, И – с излучающими добавками, З – зеркальная, первое число – мощность в Вт, второе через дефис – номер разработки или модификации. Колбы могут быть: эллипсоидные (прозрачные или частично покрытые люминофором) или трубчатые (рис 2.4.3).

Принцип действия металлогалогенных ламп основан на том, что галогениды многих металлов испаряются легче, чем металлы и не разрушают кварцевое стекло, поэтому в колбу лампы вводят кроме ртути и аргона, дополнительно химические соединения в виде их галоидных соединений (т.е. соединений с йодом, хлором, бромом). После зажигания разряда галогениды металлов испаряются, под действием высоких температур распадаются на галоген и металл, который излучает характерные спектры. У стенки колбы металл снова соединяется с галогеном и получается кругооборот.

Характеристики:

- напряжение 220, 380 В;

- мощность (6 типоразмеров) 250, 400, 700, 1000, 2000, 3500 Вт для ДРИ и 250, 400, 700 для ДРИЗ;

- световая отдача $\eta = 68 - 95$ лм/Вт (в перспективе $\eta = 100-120$ лм/Вт);

- срок службы $\tau = 0,6 - 10$ тыс. часов;

- коэффициент пульсации светового потока $K_{\text{п}} = 30$ %.

Световой поток к концу срока службы снижается на 30 - 50 %; КПД в области фотосинтезно – активной радиации (ФАР) равен = 30 %.

Принцип действия ламп ДРИ - электролюминесценция.

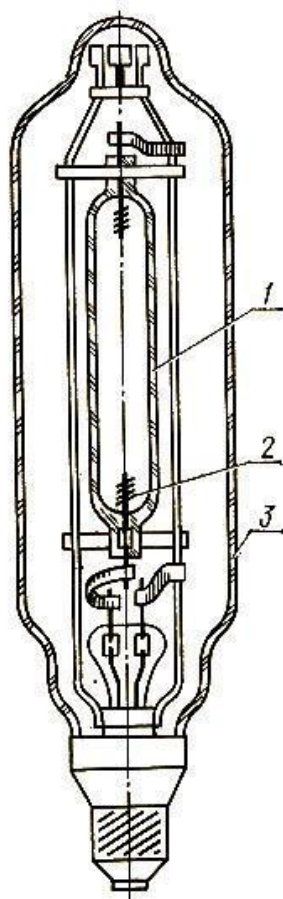


Рис. 2.4.3. Устройство ламп ДРИ

($\lambda = 560 - 610$ нм) сосредоточено 70 % видимого излучения.

Световая отдача ламп $\eta = 100 - 125$ лм/Вт;

Коэффициент пульсации светового потока $K_p = 70$ %;

Время разгорания 5 ... 15 мин.;

Выпускаются мощностью 210; 250; 360; 400; 700; 1000 Вт.

Область применения: 1) освещение улиц, перекрестков, и территорий промышленных объектов; 2) светокультура растений.

4. Дуговые ксеноновые лампы (ДКсТ, ДКсШ, ДКсТВ) относят к группе газоразрядных источников со сплошным спектром излучения в диапазоне $\lambda = 200 - 2000$ нм. В этих лампах используется разряд в ксеноне при высоком и сверхвысоком давлении и плотности тока десятки и сотни А/см². В видимой части спектр близок к солнечному.

Электрический разряд возбуждает атомы ртути, температура в трубке растет, а при достижении $\sim 500^\circ\text{C}$ начинают возбуждаться атомы галоидных соединений металлов, испускают излучение в видимой части спектра. Спектр излучения металлов дополняется спектральным излучением ртути. Люминофор не нужен.

3. Лампы типа ДНаТ

Одним из самых эффективных групп источников видимого излучения являются натриевые лампы высокого давления (рис 2.4.4).

Натрий, имеющий наиболее низкие потенциалы возбуждения и ионизации, является основным рабочим веществом (дает излучение, электроны, ионы), ртуть – в качестве буферного газа для повышения температуры разряда, снижения тепловых потерь.

Баланс мощности ДНаТ: – потери на электродах – 6 %; видимое излучение – 30 %, УФ и ИК излучения – 20 %, тепловые потери в столбе разряда – 44 %. В желто-оранжевой области

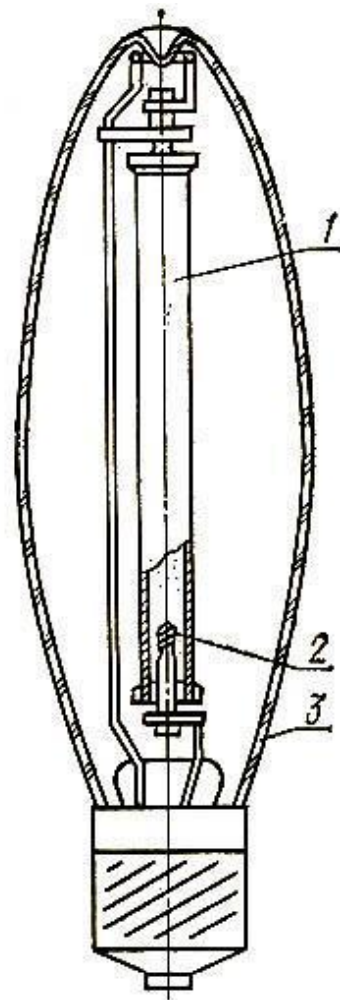


Рис. 2.4.4. Устройство лампы ДНаТ.

В диапазоне больших токов вольтамперная характеристика (ВАХ) переходит в возрастающий вид, что дает возможность стабилизировать разряд ламп малым балластом, а длинные трубчатые лампы вообще можно включать без балласта.

Классификация ламп основана на конструктивных признаках:

1) трубчатые газоразрядные лампы высокого давления (ГЛВД) с естественным и водяным охлаждением;

2) лампы сверхвысокого давления (ЛСВД) с короткой дугой с естественным и принудительным охлаждением.

Коэффициент пульсации потока $K_p = 130 \%$.

Мощность $P = 2000, 5000, 6000, 10000, 20000, 50000$ Вт.

Световая отдача $\eta = 20 - 29$ лм/Вт для воздушного охлаждения и $\eta = 35 - 45$ лм/Вт для водяного охлаждения.

Срок службы $\tau = 100 - 1300$ часов.

Область применения: 1) освещение больших открытых пространств и архитектурных сооружений;

2) облучение растений в теплицах.

У лампы ДКсТВ колба помещается в стеклянный цилиндр со специальными фланцами и патрубками.

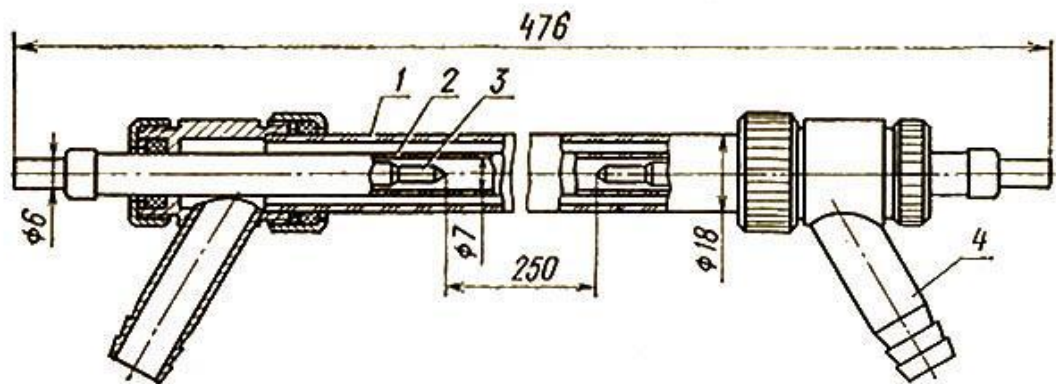


Рис.2.4.5. Устройство лампы ДКсТВ.

5. Ртутные лампы сверхвысокого давления (ДРШ, СВД) наиболее распространены в виде шаровых ртутных ламп (ДРШ), реже применяют трубчатые лампы типа СВД.

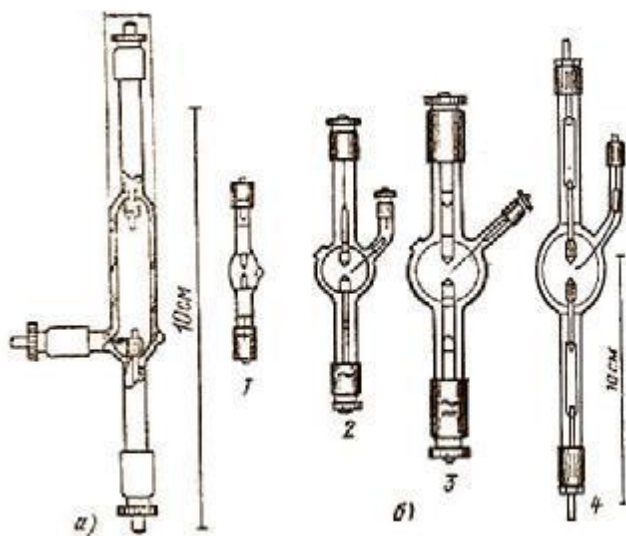


Рис.2.4.6. Устройство лампы СВД (а) и ДРШ (б).

прямой записью на фотобумагу; 2) люминесцентный анализ; 3) проекционные системы.

Эти лампы отличаются высокой яркостью – удобно использовать в проекционной технике. ДРШ бывают на $P = 250, 500, 1000$ Вт; СВД – $P = 120$ Вт.

Спектр излучения носит линейчатый характер и более близок к непрерывному, чем у РЛВД.

«Красное отношение» – 4...6% .

Излучение с $\lambda < 280-290$ нм практически отсутствует.

Световая отдача $\eta = 50-55$ лм/Вт.

Время разгорания $\tau = 1000...600$ часов.

Область применения:

1) светолучевые осциллографы с

2.4.2. ПРА и схемы включения газоразрядных ламп высокого давления

Газоразрядные лампы высокого давления (ГЛВД) включают по следующим схемам:

1) мгновенного зажигания

а) простейшая схема для 4-х электродной лампы (лампы ДРЛ)

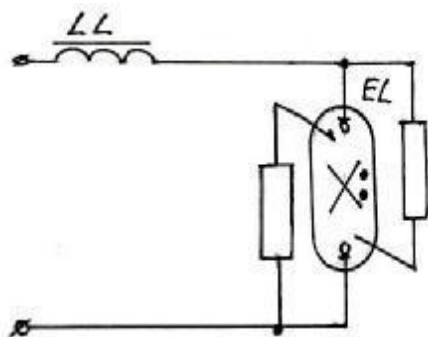


Рис. 2.4.7. Схема включения четырёхэлектродной лампы

б) для двухэлектродной (типа ДРТ)

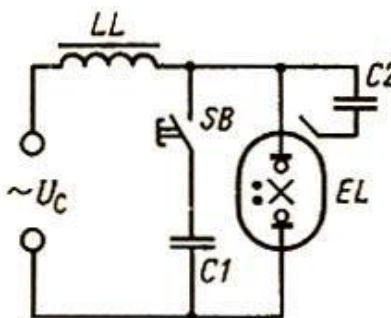


Рис.2.4.8. Схема включения двухэлектродной лампы типа ДРТ

- 2) Зажигание импульсом напряжения
 а) параллельного поджига (УИЗУ) б) последовательного поджига (ИЗУ)

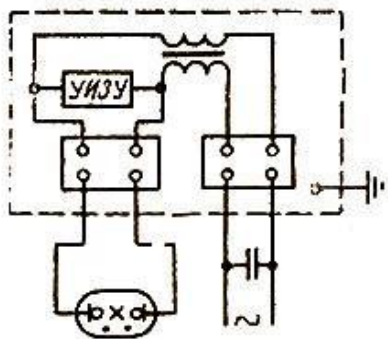


Рис. 2.4.9. Схема включения лампы с помощью УИЗУ

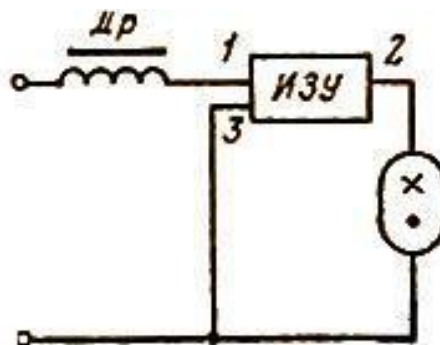


Рис.2.4.10. Схема включения лампы с помощью ИЗУ.

УИЗУ – генератор параллельного поджига с емкостным накопителем энергии и полупроводниковым ключом. При включении напряжения питания заряжается конденсатор C_1 через цепочку R , C_2 и вторичную обмотку импульсного трансформатора ИТ. Когда напряжение на C_1 достигнет уровня стабилизации стабилитрона $Ст$, в цепи управляющего электрода тиристора T появляется ток. Конденсатор C_1 разряжается на первичную обмотку ω_1 через тиристор T и диод D (защищает по обратному напряжению $Ст$). Во вторичной обмотке появляются импульсы напряжения (их амплитуда, число в пакете зависят от R , C_2 и положения переключателя Π), обеспечивает зажигание лампы. Основной недостаток УИЗУ – шунтирующее действие цепи дроссель – сеть, что уменьшает амплитуду импульса, особенно для мощных ламп.

ИЗУ – генератор последовательного поджига с емкостным накопителем энергии и полупроводниковым ключом.

Недостаток ИЗУ – т.к. обмотка ИТ рассчитана на рабочий ток лампы, то большой расход металла на изготовление.

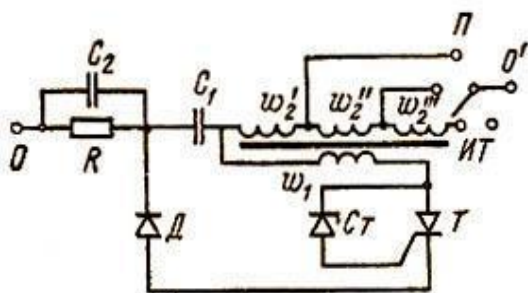


Рис.2.4.11. Схема импульсного зажигающего устройства УИЗУ

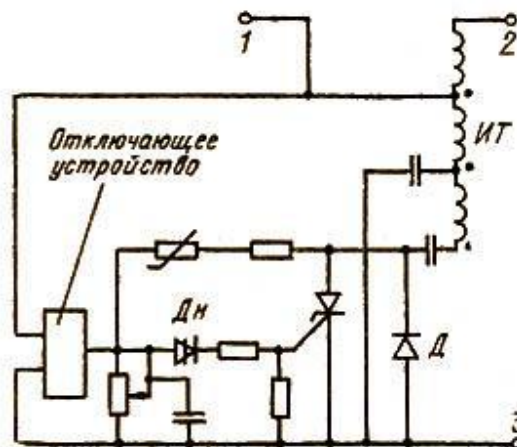


Рис.2.4.12. Схема импульсного зажигающего устройства ИЗУ

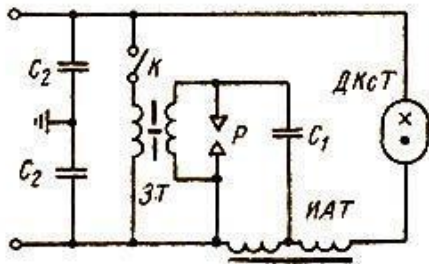


Рис.2.4.13. Схема включения лампы с помощью ёмкостного накопителя энергии

3) Зажигание с ёмкостным накопителем энергии (для ламп ДКСТ).

Конденсаторы C_1 и C_2 исключают возможность попадания импульсов напряжения в сеть. При замыкании контактов K , подается напряжение сети на первичную обмотку зарядного трансформатора $ЗТ$ и конденсатор C_1 заряжается напряжением до 3,0 кВ. Как только напряжение на C_1 достигает напряжения пробоя разрядника P , последний пробивается и конденсатор C_1 разряжается на первичную обмотку импульсного автотрансформатора $ИАТ$.

Во вторичной обмотке $ИАТ$ возникают высоковольтные (до 25кВ), высокочастотные импульсы, зажигающие лампу.

Тенденции совершенствования схем и конструкций ПРА:

- 1) создание полупроводниковых балластов с использованием элементов традиционных ПРА;
- 2) создание трёхфазных схем с индивидуальными групповыми балластами;
- 3) совершенствование конструкции и технологии производства электромагнитных элементов ПРА.

Тема 3. ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

3.1. ПРИНЦИПЫ НОРМИРОВАНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

3.1.1. Условия видимости окружающих предметов, нормирование освещения

Преобразование излучения в зрительные ощущения является сложным биологическим процессом, который, в частности, зависит от яркостей объекта L_o и фона L_ϕ . Под яркостью понимают освещённость, воспринимаемую сетчаткой глаза.

При одинаковых яркостях фона и объекта, объект не различим. Если объект находится на фоне, то минимальную разность яркостей ΔL_{nop} объекта L_o и фона L_ϕ , обеспечивающую обнаружение объекта с заданной вероятностью называют *разностным порогом* (пороговой разностью яркостей):

$$\Delta L_{nop} = L_o - L_\phi. \quad (3.1.1)$$

Способность глаза различать объекты на фоне характеризуется *пороговым контрастом*

$$K_{nop} = \frac{\Delta L_{nop}}{L_\phi}. \quad (3.1.2)$$

Отношение установившейся в данный момент разности яркости объекта L_o и фона L_ϕ к яркости фона L_ϕ называют *яркостным контрастом* объекта с фоном

$$K = \frac{L_o - L_\phi}{L_\phi}. \quad (3.1.3)$$

Видимость объекта - отношение яркостного контраста объекта наблюдения к его пороговому контрасту:

$$V_{вид} = \lg \frac{10K}{CK_{nop}}; \quad (3.1.4)$$

где C – коэффициент сверхпорогового контраста ($C = 1,8 \dots 2$).

Величина порогового контраста зависит от *углового размера* объекта (телесного угла ω). *Угловой размер* объекта – отношение абсолютного размера объекта к расстоянию до глаза наблюдателя R (см. рис. 3.1.1.)

$$\alpha = \frac{l}{R}. \quad (3.1.5)$$

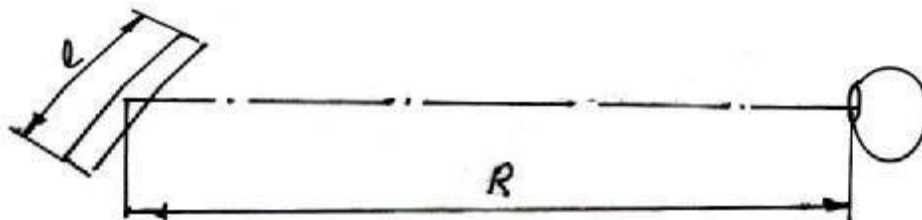


Рис.3.1.1. К определению углового размера объекта

Таким образом, для обеспечения заданной видимости объекта, необходимо обеспечить определенную яркость фона. Яркость фона в реальных условиях зависит от уровня освещенности и коэффициента отражения фона (рабочей поверхности). При этом, освещенность рабочей поверхности необходимо увеличивать при малых угловом размере объекта, контрасте объекта с фоном, коэффициенте отражения рабочей поверхности.

3.1.2. Общие принципы нормирования освещенности (СНБ и отраслевые нормы)

Правила и нормы освещения регламентируются соответствующими нормативными документами, в основу которых заложены материалы научных исследований, физиологии зрения, гигиены труда, техники и экономики освещения и других смежных наук.

Нормирование промышленных осветительных установок в Республике Беларусь произведено в двух аспектах: 1) разработка общих норм для всех производственных помещений по обобщенным характеристикам зрительных задач; 2) установление уровня нормируемых величин для отдельных технологических операций.

Первый случай относится к разработке *общеотраслевых норм освещения*, а второй – к *отраслевым документам*.

Общеотраслевые нормы освещения изложены в строительных нормах Беларуси (СНБ 2.04.05 – 98) «Естественное и искусственное освещение». Нормирование освещения в этих нормах производится по характеру зрительной работы в производственных помещениях , которое оценивается *точностью и сложностью работ*:

1) *точность* определяется:

- размером объекта различения (шесть первых разрядов I – VI);
- работы с самосветящимися материалами (VII разряд);
- работы, связанные с общим наблюдением за ходом технологического процесса (VIII разряд).

Объекты наблюдения характеризуются линейными размерами (доли миллиметра), хотя, как мы установили ранее, глаз реагирует на угловые размеры. В большинстве случаев в производственных условиях расстояние до объекта наблюдения не превышает 0,35...0,5 м. В других случаях необходима соответствующая корректировка.

2) *сложность* определяется контрастом объекта с фоном (каждый разряд норм от I по V делится на 4 подразряда (а, б, в, г), которые характеризуются сочетанием контраста объекта с фоном и коэффициентом отражения последнего (фона).

В зависимости от коэффициента отражения фон бывает:

- темный (коэффициент отражения фона $\rho < 0,2$);
- средний ($0,2 \leq \rho \leq 0,4$);
- светлый ($\rho > 0,4$).

Установлено три группы контрастов:

- малый (Контраст $K < 0,2$);

- средний ($0,2 \leq K \leq 0,5$);
- большой ($K > 0,5$).

Таблица нормируемой освещенности в СНБ 2.04.05. – 98 имеет вид:

3.1.1. Нормы освещенности рабочих поверхностей в производственных помещениях

Разряд, характеристика зрительной работы и наименьший размер объекта различения	Под разряд	Контраст объекта с фоном	Фон	Освещенность	
				Комбинированное освещение	Одно общее освещение
1. Наивысшей точности; размер объекта менее 0,15 мм	а	Малый	Темный	5000(4000)	1500(300)
	б	Малый	Средний	4000(300)	1250(300)
		Средний	Темный		
	в	Малый	Светлый	3000(2000)	1000(300)
		Средний	Средний		
		Большой	Темный		
	г	Средний	Светлый	1500(1250)	400(300)
		Большой	Средний		
		Большой	Светлый		
II. Очень высокой точности (0,15..0,3 мм)					
VI. Грубая (очень малой точности; размер объекта >5мм)					

При одинаковой освещенности в системе общего освещения, осветительные установки обладают большей энергоемкостью по сравнению с установками, выполненными системой комбинированного освещения, поэтому

нормами установлены для системы общего освещения при той же точности работ более низкие уровни освещенности.

Для облегчения труда проектировщиков разработаны отраслевые документы, устанавливающие уровни нормируемых величин для отдельных технологических операций производственных, сельскохозяйственных и других объектов.

Так для сельскохозяйственных объектов разработаны «Отраслевые нормы освещения с.-х. предприятий, зданий и сооружений» регламентирующие для различных видов с.-х. помещений уровень освещенности, рабочую поверхность, для которой нормируется освещенность, а также плоскость, в которой формируется освещенность (см. табл.3.1.2) .

3.1.2. Нормирование освещенности с.-х. зданий

Помещение, участок, оборудование	Рабочая поверхность, для которой нормируется освещенность	Плоскость, в которой формируется освещенность	Освещенность, лк		Дополнительные указания
			При газоразрядных лампах	При лампах накаливания	
<p>А. Животноводческие здания и сооружения</p> <p>а) для крупного рогатого скота молочного направления</p> <p>І. Помещение для содержания коров и ремонтного молодняка</p> <p>Зона кормления</p>	Пол, зона расположения кормушек	Горизонтальная	75	30	<p>Во время доения освещенность на вымени коровы должна быть не менее 150 лк.</p>

3.1.3. Системы и виды освещения. Качественные характеристики осветительных установок

В соответствии со СНБ 2.04.05 – 98 «Естественное и искусственное освещение» Различают две системы 1) общего освещения; 2) комбинированного освещения.

Система *комбинированного освещения* характеризуется наличием местных светильников, установленных непосредственно на рабочих местах. Эти светильники дополняют освещенность рабочих мест, создаваемую све-

тильниками общего освещения. Применение одного местного освещения внутри здания не допускается.

Систему комбинированного освещения применяют тогда, когда на рабочей поверхности необходимо создать освещенность более 200 лк при газоразрядных лампах и 100 лк при лампах накаливания. При этом, освещенность рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения в системе комбинированного, должна составлять 10% нормируемой для комбинированного освещения при тех источниках света, которые применяются для местного освещения, но не менее 200 лк и не более 500 лк при газоразрядных лампах и, соответственно, не ниже 75 лк и не более 150 лк при лампах накаливания. Независимо от принятой системы, общее освещение может быть выполнено с *равномерным* или *локализованным* размещением светильников.

Различают следующие виды освещения: *рабочее, аварийное безопасности, эвакуационное* и *охранное* освещение территорий. В с.х. помещениях для содержания животных из рабочего освещения выделяют *дежурное*, предназначенное для периодического контроля в нерабочее время за состоянием животных и безопасного движения дежурного персонала в проходах и коридорах. Светильники дежурного освещения выделяют из числа светильников общего освещения. В помещениях для содержания животных они должны составлять 10 %, а в родильных отделениях – 15 % от общего числа светильников в помещениях. К дежурному освещению иногда относят и наружное освещение входов в помещениях.

Аварийное безопасности освещение применяют, если отключение рабочего освещения может повлечь взрыв, пожар, отравление людей или длительное нарушение технологического процесса.

Эвакуационное освещение следует предусматривать: в местах, опасных для прохода людей, в проходах и на лестницах, служащих для эвакуации людей, при числе работающих более 50 человек; по основным проходам производственных помещений, в которых работают более 50 человек; в производственных помещениях с постоянно работающими в них людьми, где выход при отключении рабочего освещения связан с опасностью травматизма из-за продолжения работы производственного оборудования, а также в жилых домах с числом этажей более 6, общественных и вспомогательных зданиях.

Охранное освещение – для охраны в ночное время вдоль границ территорий.

Количественными характеристиками установок в зависимости от их назначения и нормативных требований являются: значения освещенности в характерных точках на горизонтально, вертикально или наклонно расположенных поверхностях ($E_{\text{г}}$, $E_{\text{в}}$, $E_{\text{нк}}$), среднее значение освещенности $E_{\text{ср}}$ или яркости L .

Наряду с количественными характеристиками контролируют также *качественные*:

а) для промышленных осветительных установок:

- 1) коэффициент пульсации K_n освещенности;
- 2) показатель ослепленности p ;

- 3) коэффициент неравномерности Z ,
- б) для жилых и общественных зданий:
 - 1) цилиндрическая освещенность $E_{ц}$;
 - 2) показатель дискомфорта M .

Коэффициент пульсации освещенности характеризует пульсацию светового потока ламп при питании их от сети переменного тока

$$K_n = \frac{E_{max} - E_{min}}{2E_{cp}} 100\% . \quad (3.1.5)$$

Нормами предусмотрено ограничение значений K_n . Коэффициент пульсации можно определить по справочным таблицам, где он установлен в пределах $K_n = 10 \div 20$.

Показатель ослепленности характеризует слепящее действие, оказываемое осветительной установкой на глаз человека. Показатель ослепленности может быть определен по формуле инженерным методом:

$$P = \frac{K 10^3}{L_{p.n}} \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{I_{\mathcal{L}i} \cos Q_i}{l_i^2 Q_i^2} \right)^{3/2} \right]^{2/3}, \quad (3.1.6)$$

где $K = (3 \lg L - 8,54) a$ (для $L < 10^6$ кд/м² $K = 9,46$ а $L > 10^6$ кд/м²); L – яркость светильника; a – коэффициент неэквивалентности ($a = 1$ для л.н., $a = 1,1$ для МГЛ, $a = 1,7$ для ЛД, ЛДЦ); $I_{\mathcal{L}i}$ – сила света i -го светильника в направлении глаз наблюдателя; Q_i – угол действия i -го светильника; l_i – расстояние i -го блесклого источника; $L_{p.n}$ – яркость рабочей поверхности, кд/м². P – можно определить также по таблицам (регламентируется в пределах $P = 20 \div 60$).

Коэффициент неравномерности

$$z = \frac{E_{max}}{E_{min}}, \quad (3.1.7)$$

регламентирован нормами в пределах $1,5 \div 3,0$ в зависимости от точности работ.

Показатель дискомфорта характеризует слепящее действие по дискомфорту. Показатель дискомфорта M может быть определен по таблицам. Нормируется значение показателя дискомфорта M , равное 15 и 25 (разряд I); 40 и 60 (разряд II); 60 и 90 (разряд III) в зависимости от уровня освещенности. Показатель дискомфорта

$$M = M_m K_m, \quad (3.1.8)$$

где M_m – табличное значение показателя дискомфорта; K_m – поправочный коэффициент

$$K_m = 0,5 \sqrt{\frac{\Phi_{\cup p}}{S_{вых}}}, \quad (3.1.9)$$

где $\Phi_{\cup p}$ – реальный световой поток светильника в нижнюю полусферу; $S_{вых}$ – площадь выходного отверстия светильника.

Табличное значение показателя дискомфорта зависит от отношений длины A и ширины B к высоте H , коэффициентов отражения поверхностей стен ρ_c и потолка ρ_n :

$$M_m = f\left(\frac{A}{H}, \frac{B}{H}, \rho_c, \rho_n\right) \quad (3.1.10)$$

Показатель дискомфорта нормируется в зависимости от уровня освещённости для разрядов работы:

Разряд I $M = 15 \div 25$;

Разряд II $M = 40 \div 60$;

Разряд III $M = 60 \div 90$;

Цилиндрическая освещённость $E_{\text{ц}}$ характеризует насыщенность помещения светом, определяется как средняя плотность светового потока на поверхности вертикально расположенного цилиндра, радиус и высота которого стремятся к нулю

$$E_{\text{ц}} = \frac{\phi}{\lim_{\substack{h \rightarrow 0 \\ r \rightarrow 0}} 2\pi rh} ;$$

или

$$E_{\text{ц}} = \frac{1}{\pi} \int_{\omega} \cos \beta dE_{\text{ц}} . \quad (3.1.11)$$

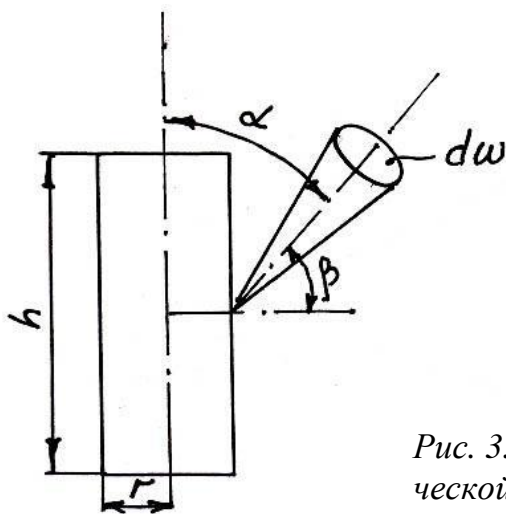


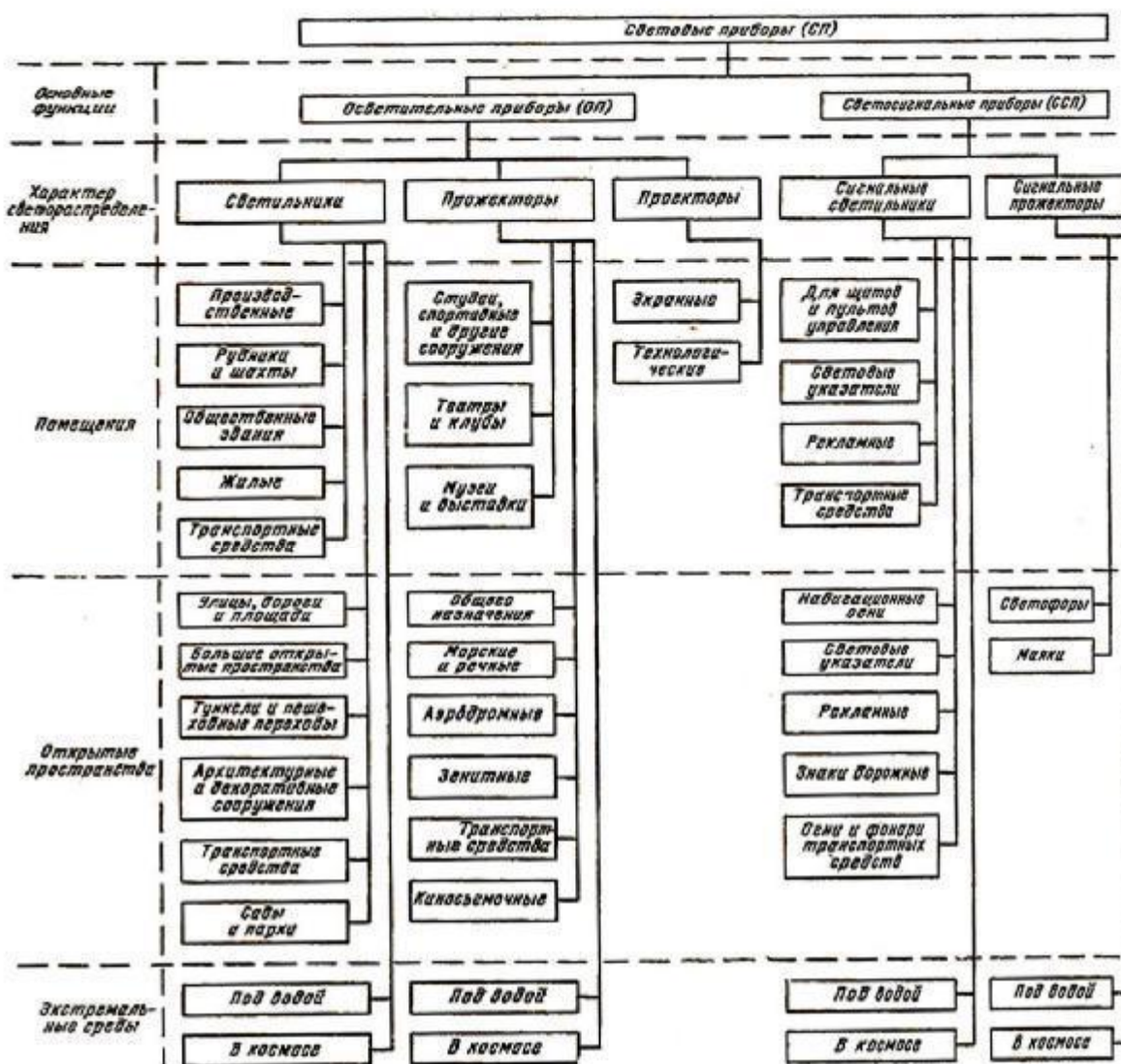
Рис. 3.1.2. К определению цилиндрической освещённости

3.2 ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

3.2.1. Классификация световых приборов

Совокупность источника света и устройства, предназначенного для его крепления, включения в сеть, перераспределения светового потока, ограничения слепящего действия, защиты от механических повреждений и воздействия окружающей среды называют *световым прибором*.

3.2.1. Классификация световых приборов по основному назначению



Световой прибор, предназначенный для освещения объектов в больших телесных углах (до 4π) и находящихся от него на небольшом расстоянии (менее 20-кратного его размера) называют *светильником*, а для более дальнего действия – *прожектором*.

Светильник имеет коэффициент усиления светового потока в данном направлении менее 30 для кругло симметричного и менее 15 для симметричного.

Светильники классифицируют по распределению светового потока, форме кривой силы света, по способу установки, по степени защиты от пыли, воды, взрыва.

В основу классификации светильников по светораспределению положено соотношение световых потоков, направленных в разные полусферы пространства. В зависимости от этого соотношения различают 5 классов светильников (табл.3.2.2).

3.2.2. Классы светильников по светораспределению

<i>Наименование</i> класса светильника	Обозначения светильника	$\Phi_{\cup} / \Phi, \%$
1	2	3
Светильник прямого света	П	>80
Светильник преимущественно прямого света	Н	60...80
Светильник рассеянного света	Р	40...60
Светильник преимущественно отраженного света	В	20...40
Светильник отраженного света	О	≤ 20

По *форме кривой силы света* светильники делятся на 7 классов (ГОСТ 13677-82). Основным признаком, определяющим тип кривой светораспределения светильника, является *коэффициент формы* K_{ϕ} :

$$K_{\phi} = \frac{I_{\max}}{I_{\text{ср.арифм}}}, \quad (3.2.1)$$

где I_{\max} – максимальное значение силы света светильника; $I_{\text{ср.арифм}}$ – среднеарифметическое значение силы света светильника.

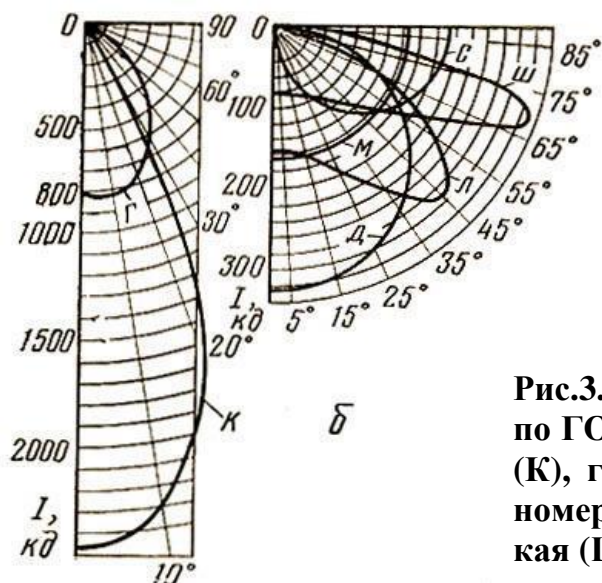


Рис.3.2.1. Типовые кривые силы света по ГОСТ 13828- 74: концентрированная (К), глубокая (Г), косинусная (Д), равномерная (М), полуширокая (Л), широкая (Ш), синусная (С)

Классификация светильников по светораспределению в пространстве и типовые кривые силы света ГОСТ 13677-82 приведены в табл.3.2.3.

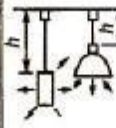

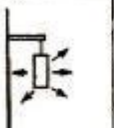
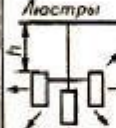






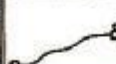






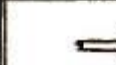

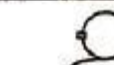
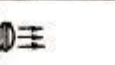



3.2.3. Кривые силы света

Наименование типовой кривой силы света	Обозначение кривой	Зона направления силы света, °
Концентрированная	К	0...15
Глубокая	Г	0...30, 180...150
Косинусная	Д	0...35, 180...145
Полуширокая	Л	35...55, 145...125
Широкая	Ш	55...85, 125...95
Равномерная	М	0...90, 180...90
Синусная	С	70...90, 110...90

Классификация светильников по способу установки приведена в табл.3.2.4.

Защита светильников от пыли и воды (ГОСТ 13677-82) обозначается двумя буквами IP (International Protection) и двумя цифрами, первая из которых обозначает степень защиты от пыли, вторая от воды (например, IP54). Для светильников отличающихся от рекомендаций IP обозначение степени защиты не имеет букв IP, а у первой цифры, указывающей степень защиты от пыли, добавляется “штрих” (например, 5'4).

3.2.4. Классификация СП по способу установки

	Подвесные СП	Потолочные СП	Настенные СП	Опорные СП			
		 $h \leq 0,1 \text{ м}$ Встраиваемые СП	 Пристраиваемые СП	Настольные	Напольные	Венчающие	Консольные
Стационарные СП	 $h > 0,1 \text{ м}$ Люстры						
Переносные СП	Ручные СП		Головные СП		На стойке		На магнитном основании
							
Автономные							

По степени защиты от пыли светильники делятся на 6 классов: незащищённые (открытые 2, перекрытые 2'), пылезащищённые (полностью 5, частично 5'), пыленепроницаемые (полностью 6, частично 6').

По степени защиты от влаги светильники бывают 7 классов: незащищённые (0); каплезащищённые (2); дождезащищённые (3); брызгозащищённые (4); струезащищённые (5); водонепроницаемые (7) герметичные (8).

По степени защиты от взрыва светильники различают: 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. Конструкция светильников, защищённых от взрыва сложна.

3.2.2. Устройство, назначение, характеристики и структура маркировки светильников

Светильник состоит из источника света и арматуры. Основными элементами светильника являются отражатель и рассеиватель.

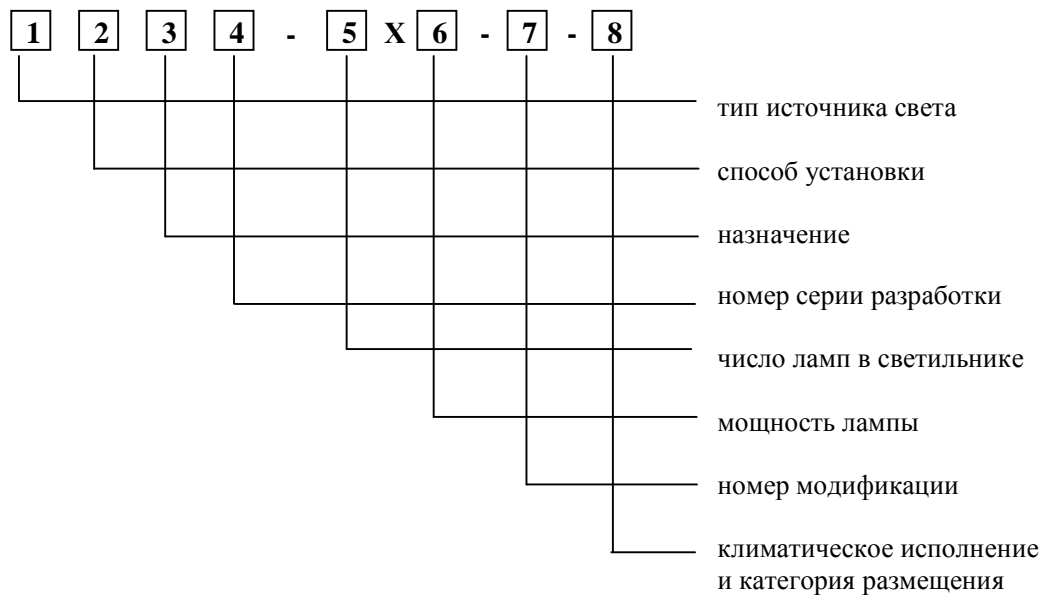
Отражатель предназначен для перераспределения светового потока источника в требуемом направлении. Отражатель выполняют чаще всего из металла. В зависимости от назначения светильника, отражатели могут обладать рассеянным (диффузным) либо направленным (зеркальным) отражением. Отражатели с диффузным отражением покрывают внутри белой эмалью, обладающей незначительной составляющей направленного отражения. Зеркальные отражатели сильно влияют на форму кривой светораспределения

светильника. В качестве материала для изготовления зеркальных отражателей используют стекло или металл (алюминий, сталь), обработанный соответствующим гальваническим или механическим способом.

Промежуточное положение занимают отражатели с направленно-рассеянным отражателем. К ним относятся металлические отражатели с травленной или никелированной поверхностью, а также отражатели, покрытые алюминиевой краской.

Рассеиватель предназначен для создания равномерного светового потока в направлении, ограниченном отражателем, защищает глаз от чрезмерной яркости источника света. Материалом рассеивателя служит прозрачное стекло, предварительно подвергнутое механической и химической матировке, либо так называемые глушеные стёкла, - стёкла, в состав которых введены мельчайшие частицы примесей с иным коэффициентом преломления, чем у стекла. В последнее время широко используют пластмассы.

Светильники обозначаются по ГОСТ 13677-82. Структура обозначений по этому ГОСТу:



Основными светотехническими характеристиками светильников являются: *светораспределение, КПД, защитный угол.*

Светораспределение светильников общего освещения характеризуется кривыми распределения силы света. Для симметричных светильников характеристикой светораспределения является продольная кривая распределения силы света, полученная в результате сечения тела излучения любой плоскостью, проходящей через вертикальную ось симметрии светильника.

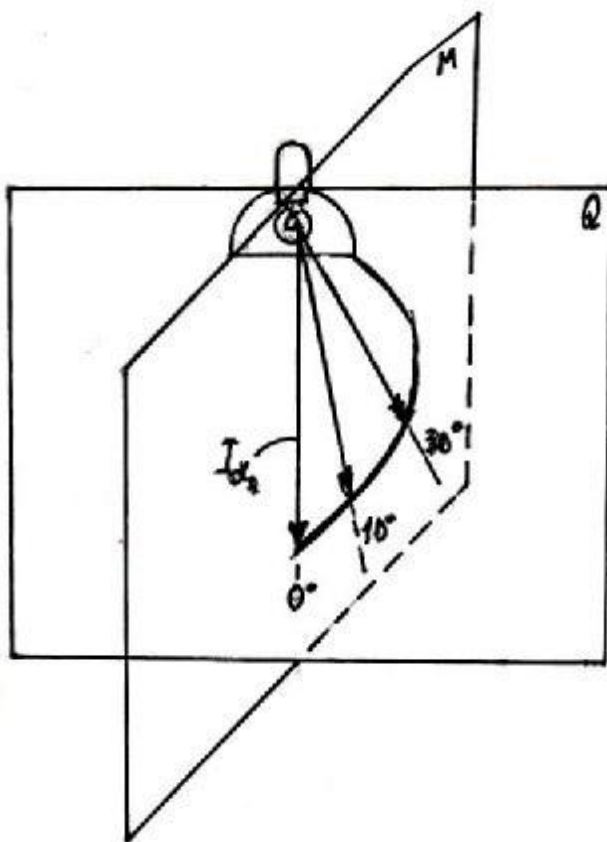


Рис. 3.2.2. К определению кривой силы света

условной лампы в 1000лм.). Если световой поток реальной лампы отличается от 1000лм, то производится соответствующий пересчёт (пропорциональный). По форме кривой силы света различают семь основных видов светораспределения: концентрированное (К), глубокое (Г), косинусное (Д), равномерное (М), полуширокое (Л), широкое (Ш), синусное (С).

КПД светильника – отношение светового потока светильника к световому потоку источника света

$$\eta = \frac{\phi_{\text{свет}}}{\phi_{\text{источ}}}; \quad (3.2.2)$$

К.п.д. η характеризует экономичность светильника и зависит от материала осветительной арматуры и конструкции светильника (в практике $\eta=0,45\dots0,75$).

Защитный угол светильника γ определяет степень защиты глаза от воздействия ярких частей источника света (рис.3.2.3):

$$\gamma = \arctg \frac{2h}{D+d} = \arctg \frac{h}{R+r}. \quad (3.2.3)$$

Для характеристики распределения силы света несимметричных светильников пользуются семейством кривых распределения силы света в разных продольных плоскостях (плоскость Q, M и т. д.).

Симметричный светильник – светильник с симметричной формой фотометрического тела.

Несимметричный светильник – светильник с несимметричной формой фотометрического тела.

Фотометрическое тело – часть пространства, ограниченная замкнутой поверхностью, представляющей собой геометрическое место концов радиус-векторов, длина которых в масштабе равна силе света в этом направлении.

Кривые светораспределения светильников даются в справочной литературе (обычно для

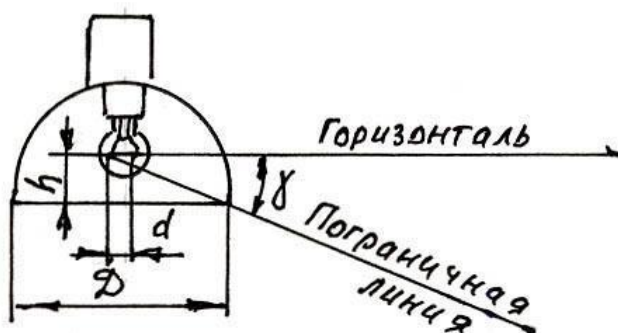


Рис.3.2.4. К определению защитного угла светильника

Освещение производственных и общественных зданий осуществляется светильниками с лампами накаливания, газоразрядными лампами высокого и низкого давления. Промышленность выпускает огромное количество всевозможных светильников. Характеристики этих светильников, область их применения приводятся в справочной литературе, пользуясь которой можно выбрать светильник, отвечающий условиям окружающей среды, светотехническим, экономическим и эстетическим требованиям.

3.2.3. Номенклатура, устройство и технические характеристики комплектных осветительных устройств (КОУ) и прожекторы

Прожектором называют световой прибор, перераспределяющий свет лампы внутри малых телесных углов и обеспечивающий угловую концентрацию светового потока с коэффициентом усиления более 30 для круглосимметричных и более 15 для симметричных приборов. Прожекторы служат для освещения удаленных объектов, находящихся на расстоянии, в десятки, сотни и даже тысячи раз превышающих размер прожектора. Существуют: 1)прожекторы общего назначения; 2)поисковые прожекторы; 3)маяки; 4)светофоры; 5)фары.

В с.х.п. используют в основном первый тип прожекторов, а на транспортных средствах – фары. Прожекторы общего назначения используют для освещения открытых пространств, площадок и т.д.

В с.х.п. используются в основном прожекторы с лампами ДРЛ (ПСМ, ПЗС-45), лампами накаливания типа Г220-500, Г220-1000 (ПСМ; ПСМ-40; ПЗС-35), галогенными лампами КГ (ПКН-1000-1), ксеноновыми лампами ДКСТ 10000 (СКсН-10000). Буквы в маркировке означают:

ПЗС- прожектор заливающего света со стеклянным отражением;

ПСМ - прожектор среднего светораспределения с металлическим отражением;

ПЗР – прожектор с лампой ДРЛ;

ПКН – прожектор с галогенными лампами накаливания;

ПГП – прожектор с металлогалогенными лампами с параболоидным зеркальным отражением;

ПГЦ – то же с параболоцилиндрическим отражением;

Цифры после букв – диаметр (см) выходного отверстия, мощность в Вт.

Комплектные осветительные устройства со щелевыми световодами (КОУ) представляют собой световые комплексы, укомплектованные всем необходимым для монтажа и эксплуатации (включая источники света, элек-

тротехнические блоки, содержащие ПРА, зажигающие и предохраняющие элементы, монтажные узлы и др.) и собираемые у потребителя.

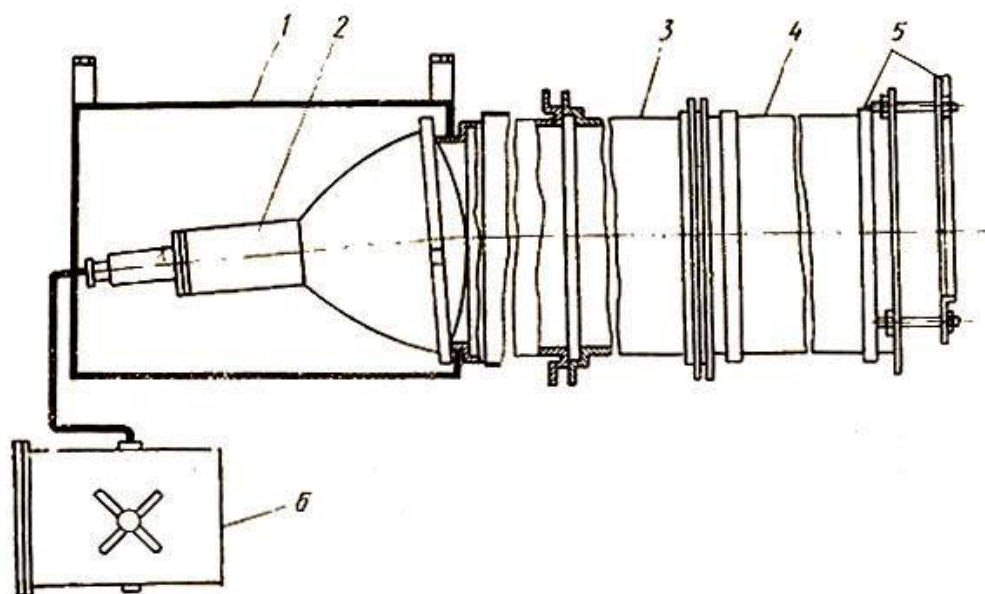


Рис. 3.2.4. Общий вид КОУ 1– камера; 2 – источник; 3,4 – световод; 5 – торцевой элемент; 6 – пускорегулирующий

КОУ состоят из следующих основных узлов: щелевого световода (ЩС), камеры с источниками света и блоков ПРА, торцевого и переходного (для некоторых исполнений КОУ) элементов. Щелевой световод представляет собой полую, протяжённую цилиндрическую трубу, внутренняя поверхность которой по всей длине покрыта зеркально отражающим слоем, за исключением продольной полосы (оптической щели), которая является светопропускающей. Выпускаемые КОУ имеют световоды с мягкой эластичной оболочкой, изготовленной из светорассеивающей и металлизированной в вакууме полиэтилентерафталатной (ПЭТФ) плёнки. *Камера* – конструктивный узел, обеспечивающий установку вводных устройств с источниками света, их механическую защиту, электрическое питание и защиту от воздействия окружающей среды. *Торцевой элемент* – в основном монтажный узел, служащий для формообразования и крепления ЩС и содержащий также дополнительный отражатель. Переходной элемент служит для передачи излучения источников света, установленных в камере, в ЩС и одновременной изоляции камеры от освещаемого помещения.

В серию КОУ входят следующие исполнения, предназначенные для различных условий применения:

КОУ1 – устройства для производственных помещений с тяжелыми условиями среды (с большим содержанием пыли и влаги), а также с взрывоопасными зонами классов В-1б и В-11а, с камерами, устанавливаемыми непосредственно в освещаемом помещении рядом с каналами световодов;

КОУ1А – устройства для производственных помещений с взрывоопасными зонами классов В-1, В-1а и В-11, с камерами, вынесенными за пределы ограждающих конструкций помещений и соединяемыми со световодами с помощью переходных элементов;

КОУ1/С – устройства без камер для помещений со строительными галереями, коммуникационными каналами и другими строительными конструкциями.

Достоинства КОУ: 1)снижение эксплуатационных расходов; 2)упрощение в обслуживании; 3) повышенная надёжность (благодаря резервированию); 4)снижение коэффициента запаса; 5)улучшение внешнего вида.

3.2.5. Номенклатура КОУ

Тип	Длина, м	Диаметр, мм	Тип лампы
КОУ1-М600-4×700-У3	L=18м	d=650мм	ДРИЗ 700-1
КОУ1-М275-1×250-У3	L=6м	d=275мм	ЛФМГ- 250
КОУ1-М275-1×400-У3	L=6м	d=275мм	ЛФМГ -400
КОУ1-М275-1×700-У3	L=6м	d=275мм	ДРИЗ 700-1
КОУ1-Т140-1×300-У3	L=3м	d=140мм	ЗК 220-300
КОУ1А-М600-4×700-У2	L=18м	d=650мм	ДРИЗ 700-1
КОУ1А-М275-1×250-У2	L=6м	d=275мм	ЛФМГ- 250
КОУ1А-М275-1×400-У2	L=6м	d=275мм	ЛФМГ -400
КОУ1А-М275-1×700-У2	L=6м	d=275мм	ДРИЗ 700-1

3.3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЁТ СВЕТОТЕХНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ВНУТРЕННЕГО ОСВЕЩЕНИЯ

3.3.1. Состав и содержание проектной документации. Последовательность рассмотрения и содержание вопросов проектирования светотехнической части

Согласно «Инструкции о составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений» (СНиП 1.02-85), состав и содержание проектно-сметной документации зависит от способа проектирования: для предприятий, зданий и сооружений, строительство которых будет осуществляться по типовым и повторно-применяемым проектам, проектирование осуществляется в одну стадию; для других объектов строительства, в том числе крупных и сложных – в две стадии. При проектировании объектов в одну стадию разрабатывают рабочий проект со сводным сметным расчетом, а в две стадии – проект со сводным сметным расчетом стоимости и рабочую документацию со сметами.

Проектируемая осветительная установка представляет собой совокупность световых приборов (светильников), электроустановочных светотехнических устройств (выключатели, переключатели, электрические соединители, патроны и стартеры, контактные зажимы, предохранители, светорегуляторы), шкафов, щитов и других устройств управления и защиты и предназначена для обеспечения требуемых условий видения с минимальными затратами денежных средств и электроэнергии.

Основные требования, предъявляемые к осветительным установкам, заключаются в следующем:

- 1) обеспечение равномерности распределения освещенности на рабочей поверхности;
 - 2) отсутствие теней на рабочей поверхности (устраняются либо правильным выбором направления светового потока, либо использованием светильников рассеянного или отраженного светораспределения);
 - 3) постоянство освещенности во времени;
 - 4) отсутствие в поле зрения слепящих яркостей (других светильников).
- Борьба – соблюдение минимальной высоты подвеса;
- 5) обеспечение оптимального спектрального состава излучения (определяет физический и психологический эффект освещения, цветопередачу).

В общем виде, проект осветительной установки в соответствии с ГОСТ 21.608-84 «Внутреннее электрическое освещение. Рабочие чертежи» содержит:

- общие данные по рабочим чертежам;
- **планы расположения электрического оборудования и прокладки электрических сетей;**
- принципиальные схемы питающей сети;

- принципиальные схемы дистанционного управления освещением;
- схемы подключения комплектных распределительных устройств на напряжение до 1000 В.;
- кабельный журнал питающей сети (при необходимости);
- **чертежи установки электрического оборудования (при отсутствии типовых).**

В качестве подосновы к планам расположения используют планы помещений, выполненные в основных комплектах рабочих чертежей (М1:100; 1:200; 1:50). На планах наносят: наименование помещений (экспликация); классы взрыво- и пожароопасности; нормируемую освещенность; светильники, их количество, типы ($30 \text{ ЛПО } 02 \frac{2 \times 40}{3,5}$); групповые щиты и их обозначения; выключатели, розетки; линии питающих и групповых сетей (обозначение, сечение, марку, способ прокладки).

На листах приводят данные о групповых щитах в виде соответствующих таблиц.

В учебных целях (в курсовом проекте) Вы будете представлять:

1) графическую часть:

- план с расположением светотехнического оборудования и прокладки сетей;

- принципиальную схему групповой сети.

2) пояснительную записку, состоящую из следующих разделов:

- общая часть;

- светотехнический расчет;

- расчет электрических сетей осветительной установки;

- указания по эксплуатации осветительной установки;

- мероприятия по экономии электрической энергии;

- расчет технико-экономических показателей.

Расчетам предшествует подготовительный этап, заканчивающийся выбором способов расчета. Подготовительные работы включают:

1) определение нормируемых характеристик и параметров установок:

а) установление E , K_n , P , M ;

б) анализ габаритно-планировочных параметров объекта расчета с выявлением расположения рабочих поверхностей и точек пространства, для которых соответственно приняты нормативы;

в) выявление объектов, могущих оказать затеняющее действие;

г) анализ оптических характеристик ограждающих поверхностей;

д) выявление направления отражающих (зеркальных) поверхностей для соблюдения мер ограничения отраженной блескости;

е) установление временного режима электрического освещения как фактора, влияющего на выбор источника света;

ж) определение требований к спектральным характеристикам источника света;

2) оценку действия многократных отражений:

а) определение коэффициента отражения отражающих поверхностей и оценка их роли в перераспределении светового потока светильников;

б) выявление отражающих характеристик локально расположенных у рабочих мест поверхностей;

в) оценка влияния оконных проемов или других мало отражающих поверхностей на перераспределение светового потока;

3) оценку потерь светового потока:

а) установление категорийности среды в зоне возможного размещения осветительных приборов и в пространстве полезного распространения их светового потока;

б) определение допустимых для применения в данной установке осветительных приборов в соответствии с их классификационными характеристиками;

в) определение расчетного значения коэффициента запаса;

г) определение температуры окружающей среды вблизи возможного расположения осветительных приборов (ОП) для уточнения возможного изменения номинальных параметров светового потока газоразрядных источников света;

4) выбор схемы размещения ОП и способов полного расчета:

а) оценка возможности подбора типовых решений и аналогов;

б) выбор типа источника света;

в) при необходимости нетипового расположения ОП – приближенная оценка необходимой мощности и числа ламп методом коэффициента использования;

г) подбор вариантов для сравнения;

д) выбор способа расчета и подбор вспомогательных расчетных материалов.

В соответствии с СНБ 2.04.05-98 «Естественное и искусственное освещение» и Отраслевыми нормами освещения сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений, рекомендуется применять для общего освещения всех производственных помещений (из-за более высокой световой отдачи) газоразрядные источники (в первую очередь люминесцентные лампы и лампы типа ДРЛ). Только в случаях невозможности или технико-экономической нецелесообразности применения газоразрядных ламп, а также для обеспечения архитектурно-художественных требований, допускается использовать лампы накаливания. Лампы накаливания следует применять для освещения вспомогательных (санузлы, лестницы, коридоры и т.д.) и складских помещений. Их допускается использовать в помещениях основного производственного назначения для хранения сельскохозяйственной продукции, размещения растений, животных и птицы. При выборе источников света следует помнить, что расход электрической энергии при замене ламп накаливания на газоразрядные в среднем уменьшается на 40% при лампах ДРЛ, люминесцентных ламп – 55%, металлогалогенных лампах высокого давления типа ДРИ – 65% , и натриевых лампах высокого давления – 70%.

Далее производят выбор системы и вида освещения, в соответствии с требованиями, рассмотренными нами в предыдущей лекции.

Выбирают нормируемую освещенность по нормам СНБ 2.04.05-98 в зависимости от характеристики зрительных работ, наименьшего размера объекта различения, контраста объекта различения с фоном и характеристики фона, или по таблице отраслевых норм.

При эксплуатации осветительной установки освещенность на рабочих местах уменьшается. Основные причины снижения освещенности – уменьшение светового потока источников света в процессе горения и загрязнения источников света, осветительной арматуры, стен и потолка освещаемого помещения. Уменьшение освещенности в расчетах установленной мощности источников учитывают коэффициентом запаса K_z , значение которого определяют в зависимости от наличия пыли, дыма и копоти в рабочей зоне помещения, от конструкции светильников, типа источников света и периодичности чисток светильников по таблице СНБ 2.04.05-98.

Отраслевые нормы рекомендуют для сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений принимать коэффициент запаса для ламп накаливания – 1,15, а для газоразрядных ламп – 1,3. При этом чистка светильников должна производиться не реже 1 раза в 3 месяца.

3.3.2 Выбор и размещение светильников

Светильники выбирают по:

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

Из характеристик, определяющих качество освещения, от типа светильника зависит равномерность освещения, распределение освещенности по поверхностям помещения, соотношение горизонтальной и вертикальной освещенности, степень смягчения теней, степень прямой и отраженной блескости.

В общих случаях наиболее целесообразный тип светильника выбирают на основе полного технико-экономического сопоставления возможных различных вариантов.

Одним из основных вопросов, решаемых при устройстве осветительной установки, определяющих ее экономичность, качество освещения и удобство эксплуатации является выбор расположения светильников общего освещения.

Рассмотрим типичные случаи расположения светильников в помещении (рис.3.3.1).

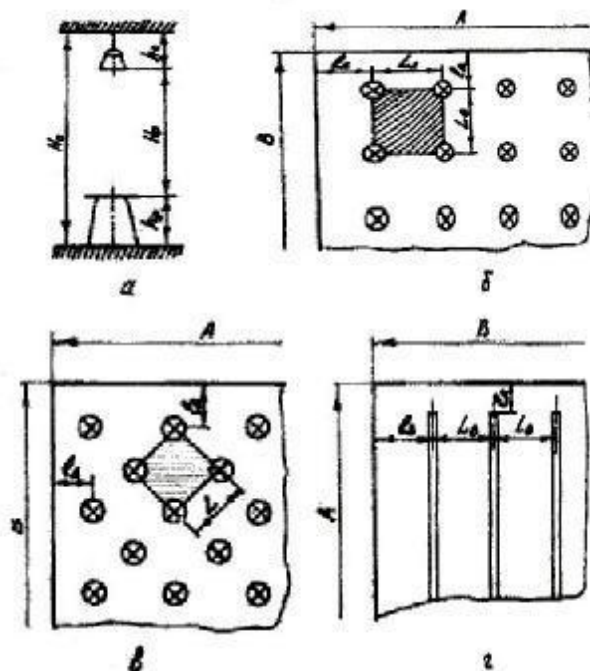


Рис. 3.3.1. Расположение светильников в помещении

Первой задачей размещения светильников является определение расчетной высоты подвеса H_p . Размеры H и h_p заданы: h_c – принимают в пределах $0 \div 1,5$ м, тогда

$$H_p = H - h_c - h_p. \quad (3.3.1)$$

Второй задачей размещения светильников является обеспечение требуемой равномерности освещения при наименьшем световом потоке источника. Распределение освещенности по рабочей поверхности определяется характером кривой силы света и относительным расстоянием между ними

$$\lambda = \frac{L}{H_p}; \quad (3.3.2)$$

Для каждого вида кривой существует наивыгоднейшее относительное расстояние $\lambda_{наив}$, которое можно определить в справочной литературе. Тогда необходимое расстояние между светильниками определяют по формуле:

$$L = H_p \lambda_{наив}; \quad (3.3.3)$$

Для обеспечения равномерности освещения светильники обычно размещают по вершинам квадрата или ромба (рис.3.3.1б,в). При невозможности размещения светильников по вершинам квадрата или ромба, их размещают по вершинам прямоугольника. При этом, отношение его сторон не должно превышать 1,5. Светильники с люминесцентными лампами обычно располагают рядами параллельно длинной стороне помещения.

Высота установки светильников над полом, за исключением светильников с люминесцентными лампами, должна, как правило, быть более 2,5 м. В отдельных случаях допускается высота установки светильников над полом менее 2,5 м, но конструкция светильников должна исключать возможность доступа к источнику света без специального инструмента при выполнении ввода в светильник изолированной электропроводки в трубах, металлорукавах или оболочках кабелей и защитных трубопроводов. Указанное требование не распространяется на электропомещения, а также осветительные установки, обслуживаемые с кранов или площадок квалифицированным элект-

тротехническим персоналом. Если светильники не удовлетворяют требованиям о недоступности к источнику света без применения специального инструмента и устанавливаются в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных на высоте менее 2,5 м, то значение подводимого к ним напряжения не должно превышать 42 В. Светильники с люминесцентными лампами на напряжение 127В и более, допускается устанавливать на высоте менее 2,5 м в любых помещениях при исключении возможностей соприкосновения с их токоведущими частями.

При равномерном размещении светильников по углам прямоугольника рекомендуется, чтобы $L_A : L_B \leq 1,5$ (рис 3.3.1,б). Расстояние от стены до ближайшего ряда светильников l_B или до ближайшего светильника в ряду l_A принимают в пределах $(0,3 \dots 0,5) L_{A,B}$ при наличии рабочих поверхностей у стен, а при отсутствии - $l_{A,B} \approx 0,5 L_{A,B}$.

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

число рядов светильников

$$N_2 = \frac{B - 2l_B}{L_B} + 1; \quad (3.3.4)$$

число светильников в одном ряду

$$N_1 = \frac{A - 2l_A}{L_A} + 1; \quad (3.3.5)$$

и общее число светильников в помещении

$$N_\Sigma = N_1 N_2. \quad (3.3.6)$$

Если L определяли по (3.3.3) с учетом светотехнического наиболее выгоднейшего относительного расстояния λ_c , то N_1 и N_2 округляют в сторону наименьшего значения, если же λ_9 , N_1 и N_2 определяют в сторону наибольшего значения.

При размещении светильников с люминесцентными лампами определяют аналогично расчётную высоту H_p , расстояние между рядами светильников L_B по формуле (3.3.3), расстояние от крайнего ряда до стены l_B и рассчитывают число рядов светильников по формуле (3.3.4). Число светильников в ряду и общее число светильников в помещении определяют после светотехнического расчёта установки.

3.3.3. Методы светотехнического расчёта внутреннего освещения

Целью светотехнического расчета является такой выбор и размещение световых приборов при которых достижение нормируемых количественных и качественных параметров было бы обеспечено при минимальных затратах на сооружение и эксплуатацию установок.

В практике для светотехнического расчета наиболее часто применяют следующие методы:

1) точечный метод:

а) с использованием кривых силы света (КСС);

- б) метод пространственных изолюкс;
- в) метод линейных изолюкс,
- 2) метод коэффициента использования светового потока,
- 3) метод удельной мощности.

1. *Метод коэффициента использования светового потока* 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, и в случае, когда для отдельных участков освещаемой площади или рабочих мест, часть установленных в помещении светильников затеняется производственным оборудованием или другими предметами. Расчет по этому методу не применим также, когда нужно определить освещенность наклонной или вертикальной поверхности.

Метод коэффициента использования светового потока заключается в определении коэффициента η равного отношению светового потока, падающего на расчетную поверхность к полному потоку осветительной установки. Основная расчетная формула метода коэффициента использования светового потока

$$\Phi_p = \frac{E_{\min} K_z S z}{n_c N_{\Sigma} \eta}, \quad (3.3.7)$$

где Φ_p – расчетный световой поток каждой лампы рассчитываемой осветительной установки, лм ; E_{\min} – нормируемая освещенность, лк ; S – площадь освещаемой поверхности, м² ; z – коэффициент минимальной освещенности (отношение средней освещенности к минимальной $z = 1,15$ л.н.; $z = 1,1$ – для л.л.; для светильников отраженного света $z = 1$); n – число ламп в светильнике, шт; η – коэффициент использования светового потока в долях единицы.

Неизвестными величинами в формуле (3.3.7) являются η и z .

Коэффициент использования светового потока зависит от многих факторов, характеризующих светильник и освещаемое помещение:

- с увеличением КПД светильника увеличивается и η ;
- η возрастает при увеличении коэффициента отражения окрашенных поверхностей стен, потолка, рабочей поверхности;
- η зависит от КСС (чем уже кривая, тем выше η);
- с уменьшением расчетной высоты H_p , η возрастает;
- с увеличением площади освещаемой поверхности η увеличивается;
- чем меньше форма помещения отличается от квадрата, тем выше η .

Коэффициент использования светового потока определяют по справочным таблицам, в зависимости от типа светильника, коэффициента отражения потолка ρ_n , стен ρ_c и рабочей поверхности ρ_p , индекса помещения. Индекс помещения определяют по формуле

$$i = \frac{AB}{H_p (A + B)}, \quad (3.3.8)$$

где A и B – длина и ширина освещаемого помещения, м.

По найденному световому потоку (3.3.7) выбирают ближайшую стандартную лампу в пределах допусков $-10\% \div +20\%$. Если это не реализуется, то корректируют число светильников. Проверяют возможность установки лампы в светильник, должно быть $P_{\text{л}} \leq P_{\text{свет}}$

Расчет осветительных установок с линейными источниками излучения (люминесцентными лампы) имеет некоторые отличительные особенности в сравнении с установками с точечными излучателями (л.н., ДРЛ, ДРИ и др.). При расчете освещения от люминесцентных ламп известными величинами являются: мощность, количество и световой поток ламп в светильнике, а также число рядов светильников. Неизвестными величинами являются: число светильников в освещаемом помещении и в одном ряду. Эти величины определяют в результате светотехнического расчета. Методика расчёта в этом случае следующая. Аналогично определяют коэффициент использования светового потока. Затем определяют число светильников с люминесцентными лампами в освещаемом помещении по формуле

$$N_{\Sigma} = \frac{E_{\min} K_3 S z}{n_c \Phi_{\text{л}} \eta}, \quad (3.3.9)$$

где $\Phi_{\text{л}}$ – поток лампы в светильнике.

Тогда число светильников в ряду

$$N_1 = \frac{N_{\Sigma}}{N_2}, \quad (3.3.10)$$

где N_2 – число рядов светильников в помещении.

Число N_1 обычно округляют в сторону увеличения.

Определяют расстояние между светильниками в ряду

$$l_p = \frac{A - N_1 l_c - 2l_A}{N_1 - 1}, \quad (3.3.11)$$

где A – длина помещения; l_c – длина светильника; l_A – расстояние от крайнего светильника в ряду до стены ($l_A = l_B$).

Затем проверяют равномерность освещения

$$0 \leq l_p \leq 1,5 L_B \quad (3.3.12)$$

2. *Метод удельной мощности* используется в простейших случаях расчета общего равномерного освещения помещений, в которых отсутствует громоздкое оборудование, способное создавать значительное затенение, и когда нет необходимости в более точных расчетах. Методом пользуются и при ориентировочных проверочных расчетах и при ориентировочных расчетах для учета осветительной нагрузки при выборе мощности трансформаторной подстанции. Следует отметить, что данный метод является приближенным и применяется крайне редко.

Метод удельной мощности используется для приближенного расчета осветительных установок помещений, к освещению которых не предъявляются особые требования, например, вспомогательные и складские помещения, кладовые, коридоры и т.д. Этот метод применим также для расчета об-

щего равномерного освещения помещений, у которых отсутствует существенное затенение рабочих поверхностей.

В основу метода удельной мощности положены результаты многочисленных расчетов средних значений мощности источников, приходящихся на 1 м^2 освещаемой поверхности. На основе подобных результатов составлены справочные таблицы, позволяющие при соответствии всех параметров осветительной установки паспортным данным таблиц определить необходимую удельную мощность источников ($P_{y\partial}$), обеспечивающую требуемые условия освещения.

К паспортным данным таблиц удельной мощности при лампах накаливания относят:

- тип светильника;
- нормируемую освещенность;
- коэффициент запаса (при его значениях, отличных от указанных в таблицах, допускается пропорциональный пересчет значений удельной мощности);
- коэффициенты отражения поверхностей помещения (таблицы рассчитаны для $\rho_n = 50 \%$, $\rho_c = 30 \%$, $\rho_p = 10 \%$), допускается при более светлых поверхностях уменьшать, а при более темных – увеличивать $P_{y\partial}$ на 10% ;
- напряжение питания источников света (для л.н. принято напряжение 220 В).

Для ламп ДРЛ сохраняет силу все выше сказанное, но со следующими отличиями:

- таблицы приведены только для освещенности 100 лк , так как в данном случае имеет место прямая пропорциональность между E_{min} и $P_{y\partial}$;
- таблицы составлены без учета напряжения сети, к которому подключают источник.

Порядок расчета по методу удельной мощности будет такой:

По расчетной высоте подвеса и площади освещаемого помещения для выбранного типа светильника по справочной таблице определяют табличное значение удельной мощности источника $P''_{y\partial}$, которое затем корректируют для приведения в соответствие всех параметров осветительной установки данных таблиц. После корректировки получают расчетное значение удельной мощности источников $P'_{y\partial}$.

Таким образом

$$P'_{y\partial} = P''_{y\partial} K_1 K_2 K_4, \quad (3.3.13)$$

где K_1 – коэффициент приведения коэффициента запаса к табличному значению; K_2 – коэффициент приведения коэффициентов отражения поверхностей к табличному значению; K_4 – коэффициент приведения напряжения (для пересчета с $U_n = 127 \text{ В}$ на $U_n = 220 \text{ В}$ принимают $K_4 = 0,86$).

Для удлиненных помещений ($A > 2,5 \text{ В}$) табличную удельную мощность $P''_{y\partial}$ находят для условной площади $2B^2$.

Расчетную единичную мощность источника определяют по формуле

$$P'_л = \frac{P'_{y\partial} S}{N_{\Sigma} n_c}, \quad (3.3.14)$$

где $P'_л$ – расчетная мощность лампы, Вт.

По расчетной мощности лампы с учетом шкалы мощностей выпускаемых промышленностью источников света выбирают подходящую лампу так, чтобы

$$0,9 P'_л \leq P_{\text{гост}} \leq 1,2 P'_л. \quad (3.3.15)$$

Проверяют возможность установки лампы в светильник, должно быть $P'_л \leq P_{\text{свет}}$.

По методу удельной мощности к паспортным данным таблиц удельной мощности при люминесцентных лампах относятся:

- тип светильников;
- коэффициент запаса (при несоответствии реального K_z с табличными, допускается пропорциональный пересчет);
- коэффициенты отражения поверхностей помещения (таблицы рассчитаны на $\rho_p = 50\%$; $\rho_c = 30\%$; $\rho_p = 10\%$, при более светлых поверхностях допускается уменьшать, а при более темных – увеличивать $P_{y\partial}$ на 10 %);
- таблицы составлены для $E = 100$ лк, т.к. в данном случае имеет место пропорциональный пересчет между E_{\min} и $P_{y\partial}$;
- в качестве паспортных данных приняты тип и мощность лампы и соответствующая световая отдача.

Как видим, в отличие от круглосимметричных светильников в паспортных данных таблиц удельных мощностей люминесцентных ламп отсутствуют значения нормируемой освещенности и напряжения сети.

При расчете осветительной установки со светильниками с люминесцентными лампами по расчетной удельной мощности определяют число светильников

$$N_{\Sigma} = \frac{P'_{y\partial} S}{P_{\text{гост}} n_c}, \quad (3.3.16)$$

и komponуют сеть по способу, рассмотренному выше.

Расчетное значение удельной мощности $P'_{y\partial}$ определяют как и ранее по табличному значению удельной мощности источника и коэффициентов, приводящих в соответствие все параметры осветительной установки паспортным данным таблиц

$$P'_{y\partial} = P''_{y\partial} K_1 K_2 \frac{E_{\min}}{100}. \quad (3.3.17)$$

3. Точечный метод расчета позволяет определить световой поток ламп, необходимый для создания заданной освещенности в любой точке произ-

вольно расположенной поверхности и любом расположении светильников при условии, что отраженный световой поток не имеет большого значения.

В тех случаях, когда размеры светящейся поверхности осветительного прибора не превышают 0,2 расстояния до освещаемой точки, этот осветительный прибор может представляться точечным излучателем и характеризоваться кривой силы света.

Если один из линейных размеров излучателя превышает указанное значение, излучатель рассматривают как светящуюся линию, каждый элемент которой описывается своими кривыми силы света в продольной и поперечной плоскостях.

Расчет освещения в точке горизонтальной или другой поверхности точечным методом связан с определением светового потока, падающего от излучателей в расчетную точку. Сущность метода состоит в том, что потребный световой поток осветительной установки определяют исходя из условия, что в любой точке освещаемой поверхности освещенность не должна быть меньше нормируемой.

Методика расчета зависит от того, точечный излучатель или линейный. Точечные излучатели в свою очередь могут быть круглосимметричные (характеризуются одной КСС) и некруглосимметричные (характеризуются несколькими КСС).

При расчете *точечным методом круглосимметричных точечных излучателей* (светильники с лампами накаливания, лампами ДРЛ) на плане помещения, где указано расположение светильников, намечают контрольные точки, где освещенность может оказаться наименьшей (контрольные точки берут обычно в «угловом поле»: одна – в его центре, другая – в середине длиной стороны «поля»). В этих точках вычисляют условную освещенность Σe , создаваемую светильниками данного типа с лампами, имеющие световой поток 1000 лм. Точку с наименьшей освещенностью принимают в качестве расчетной. Задача дальнейшего расчета заключается в определении светового потока светильников, при котором освещенность в расчетной точке будет не ниже нормированной. Если точка освещается несколькими светильниками, то ее условная освещенность будет равна сумме условных освещенностей, создаваемых каждым из них в отдельности.

Для случая, соответствующего рис.3.3.2, условная суммарная освещенность

$$\Sigma e = \frac{I_{\alpha_1} \cos^3 \alpha_1}{H_p^2} + \frac{I_{\alpha_2} \cos^3 \alpha_2}{H_p^2} + \frac{I_{\alpha_3} \cos^3 \alpha_3}{H_p^2}, \quad (3.3.18)$$

где I_{α_i} – условная сила света i -го светильника в направлении освещаемой точки определяемая по кривой светораспределения данного светильника; α – угол между осью светильника и линией, соединяющей световой центр светильника с освещаемой точкой; H_p – расчетная высота подвеса светильника.

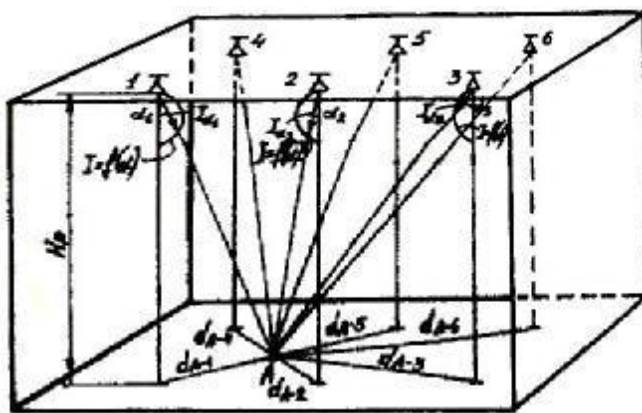


Рис.3.3.2. К определению освещенности в контрольной точке

Необходимый световой поток источника

$$\Phi_p = \frac{1000 E_{min} K_3}{\eta_{\cup} \mu \Sigma e}, \quad (3.3.19)$$

По расчетному потоку подбирают ближайшую стандартную лампу, световой поток которой может отличаться от расчетного:

$$0,9 \Phi_p \leq \Phi_{\lambda} \leq 1,2 \Phi_p.$$

Истинная освещенность точки

$$E_A = \frac{n_c \Phi_{\lambda} \Sigma e \mu}{1000 K_3}. \quad (3.3.20)$$

В практических условиях эти вычисления не делают из-за их громоздкости. Условную освещенность рассчитывают, используя справочные *кривые пространственных изолукс*, имеющиеся практически для всех типов светильников. Графики пространственных изолукс представляют собой семейство кривых, являющихся геометрическим местом точек, имеющих одинаковую горизонтальную освещенность. На одной оси графика отложено расстояние d в плане от проекции светильника до точки, на другой – расчетная высота H_p подвеса светильника. Если значения d и H_p выходят за пределы координат кривых пространственных изолукс условной горизонтальной освещенности, то можно обе координаты увеличить (уменьшить) в n раз так, чтобы точка оказалась в пределах графика, а определенное по графику значение e увеличить (уменьшить) в n^2 раз (так как освещенность обратно пропорциональна квадрату расстояния).

Как видим, при вычислении освещенности в контрольной точке учитывают лишь «ближайшие» светильники и вообще не учитывают освещенность, создаваемую от отраженных (от отражающих поверхностей) световых потоков. Это недостаток метода. Учет действия этих факторов производят посредством *коэффициента добавочной освещенности* μ . Обычно $\mu = 1,1 \dots 1,2$. Учет снижения светового потока осветительного прибора в результате старения лампы и запыленности светильника производят коэффициентом запаса K_3 . Требуемый световой поток источника света с учетом коэффициента запаса K_3 и коэффициента добавочной освещенности μ определяют по формуле:

$$\Phi_p = \frac{1000 E_{min} K_3}{\mu \Sigma e \eta_{\cup}}. \quad (3.3.21)$$

По расчетному потоку подбирают ближайшую стандартную лампу, световой поток которой может отличаться от расчетного в пределах от – 10 % до + 20 %, т.е.

$$0,9 \Phi_p \leq \Phi_d \leq 1,2 \Phi_p . \quad (3.3.22)$$

При невозможности выбора лампы с таким допуском корректируется расположение светильника.

При выборе мощности необходимо стремиться, чтобы мощность выбранной лампы совпадала с номинальной мощностью для данного светильника. Если мощность источника отличается от номинальной для данного типа светильника, и особенно, если этот новый источник имеет отличающиеся координаты светового центра (например, из-за различия размеров), то искажается форма КСС, что приводит к неверным результатам.

В принципе, не следует выискивать контрольные точки абсолютного минимума у стен или в углах; если в подобных точках есть рабочие

места, то задача доведения освещенности в этих точках до нормы может быть решена увеличением мощности источников в ближайших светильниках или установкой дополнительных светильников.

Обычно, при определении «ближайших» светильников, учитывают лишь те, которые отстоят от расчетной точки на расстоянии трех наименьших d .

Если нормируется освещенность наклонной поверхности, то ее определяют через освещенность горизонтальной поверхности в рас-

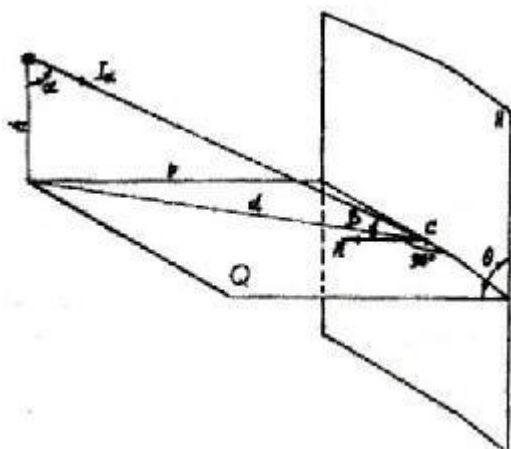


Рис.3.3.3. Определение освещенности наклонной поверхности

считываемой точке (рис.3.3.3).

Освещенность в точке C наклонной поверхности H определяется через освещенность E_r точки C горизонтальной поверхности Q , как

$$E_c = E_r (\cos \Theta \pm \frac{p}{H_p} \sin \Theta), \quad (3.3.23)$$

где E_r – освещенность элемента поверхности горизонтальной плоскости Q в точке C ; E_c – освещенность элемента поверхности наклонной плоскости в точке C ; p – кратчайшее расстояние от проекции оси симметрии светильника на горизонтальную плоскость, проходящую через точку расчета, до следа пересечения вертикальной и горизонтальной плоскости; Θ – угол наклона расчетной плоскости по отношению к плоскости, перпендикулярной оси симметрии светильника (горизонтальная плоскость).

Знак (-) в формуле (3.3.23) ставят при $\Theta > \frac{\pi}{2} + \alpha$.

Порядок расчета осветительной установки с круглосимметричными точечными излучателями точечным методом следующий:

1) после размещения светильников на плане помещения намечают контрольные точки и вычисляют в них условную освещенность;

2) из контрольных точек выбирают расчетную точку с наименьшей условной освещенностью;

3) по расчетной формуле (3.3.21) определяют требуемое значение светового потока источника и с учетом требований (3.3.22), пользуясь таблицей выпускаемых промышленностью ламп, находят мощность источника;

4) определяют мощность осветительной установки.

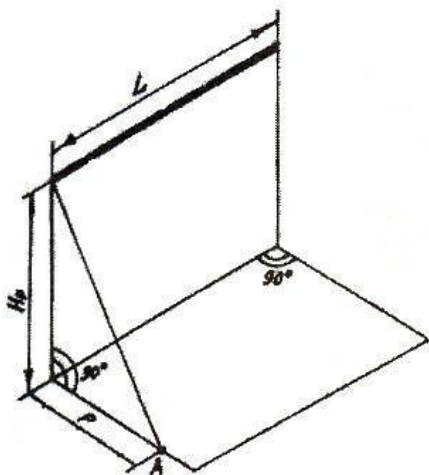


Рис.3.3.4. К определению освещённости в точке по методу линейных изо-

поток равен 1000 лм.

График линейных изолюкс дает возможность определить относительную освещенность, создаваемую светящейся линией, в точке, расположенной против конца линии при различных сочетаниях H_p , L , p .

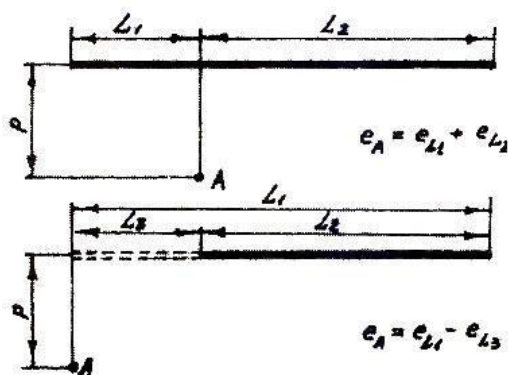


Рис.3.3.5. К определению освещённости, когда точка не лежит против конца светящейся

Необходимую линейную плотность светового потока определяют как

$$\Phi' = \frac{1000E_{\min}K_3H_p}{\mu\Sigma e}. \quad (3.3.24)$$

По известному значению Φ' осуществляют компоновку линии. Для компоновки линии вначале определяют необходимый поток ламп в линии длиной L , как произведение $\Phi'L$. После чего определяют количество светильников в ряду:

$$N_I = \frac{\Phi'L}{n_c\Phi_l}. \quad (3.3.25)$$

Значение N_I округляют в большую сторону и определяют расстояние между светильниками в ряду по формуле:

$$l'_p = \frac{A - N_I l_c - 2l_A}{(N_I - 1)}. \quad (3.3.26)$$

Затем проверяют полученное расстояние по формуле

$$0 \leq l'_p \leq 1,5L_B. \quad (3.3.27)$$

Количество светильников N_Σ равно:

$$N_\Sigma = N_I N_2, \quad (3.3.28)$$

где N_2 – число рядов светильников.

Необходимо помнить, что освещенность под концами рядов резко снижается. Если в этих местах необходимо обеспечить норму освещенности, то устанавливают или дополнительные светильники или поперечный ряд. В случае принятия этих мер при общем равномерном освещении контрольные точки, как правило, выбирают посередине между рядами светильников.

При общем освещении больших помещений часть указанных компенсаций не предусматривают в предположении, что непосредственно у торцевых стен работ не производится. В этом случае ряды доводят до торцевых стен и контрольные точки выбирают на расстоянии примерно H_p от последних. Точечным методом можно произвести и проверочный расчет по формуле:

$$E = \frac{N_I n_c \Phi_l \mu \Sigma e}{1000 K_3 H_p L}. \quad (3.3.29)$$

3.4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЁТ СВЕТОТЕХНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ УСТАНОВОК НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

3.4.1 Наружное освещение территории сельскохозяйственных объектов, полевых работ, дорог и улиц в населённых пунктах

Освещение площадок предприятий и мест производства работ вне зданий, а также улиц, дорог и площадей в городах и поселках регламентируется СНБ 2.04.05-98.

Освещенность рабочих поверхностей мест производства работ расположенных вне зданий нормируется по разрядам зрительной работы. Различают 5 разрядов (с IX по XIII) таких работ, которые подразделяют в зависимости от отношения наименьшего размера объекта к расстоянию до глаз работающего $\frac{a}{l}$ (см. рис.3.1.1).

В СНБ 2.04.05-98 имеется таблица, согласно которой, например:

Разряд работы	Точность работы	Освещённость, лк
IX разряд зрительной работы	точные работы $\frac{a}{l} < 0,005$	50
X разряд	работы средней точности $0,005 < \frac{a}{l} < 0,02$	30
XI разряд	малой точности $0,02 < \frac{a}{l} < 0,05$	10
XII разряд	грубые работы $\frac{a}{l} \geq 0,05$	5
XIII разряд	работы для различения крупных объектов	2

Освещенность площадок или дорожных покрытий принимают по таблице, приведенной в СНБ 2.04.05-98.

Освещаемые объекты	Освещённость, лк
1) Проезды с интенсивностью движения (а/м су-тки)	
а) свыше 1000 до 3000	3
б) от 200 до 1000	2
в) менее 200	1
2) Пожарные проезды, дороги для хозяйственных нужд, подъезды к зданиям	0,5

Регламентируется также неравномерность освещения. Для пешеходных дорожек $\frac{E_{\max}}{E_{\min}} = \frac{25}{1}$, для проезжей части $\frac{E_{\max}}{E_{\min}} = \frac{15}{1}$.

Наружное освещение должно иметь управление, независимое от управления внутренним освещением.

Регламентируется также высота установки светильников, если защитный угол $\gamma < 15^\circ$, то наименьшая высота установки следующая:

Светораспределение светильников	Наибольший световой поток ламп в светильнике, лм	Высота, м	
		Л.Н.	Г.Л.
<i>Полуширокое</i>	< 5000	6,5	7
	5000 – 10000	7	7,5
	⋮		
	свыше 40000	-	11,5
Широкое	< 5000	7	7,5
	5000 – 10000	8	8,5
	⋮		
	свыше 40000	-	13

Для светильников с $\gamma < 15^\circ$ – высота установки не менее 3,5 м.

На площадках для прохода людей для светильников с $\gamma = 15^\circ$ и более можно не ограничивать высоту (а также для светильников из молочного стекла без отражателей).

Венчающие светильники – на высоте не менее 3 м при $\Phi_{\text{л}}$ до 6000 лм, и не менее 4 м при $\Phi_{\text{л}} > 6000$ лм.

Нормирование высоты установки прожекторов производят в зависимости от нормируемой освещенности и максимальной осевой силы света

Нормируемая освещенность, лк	0,5	1	2	3	5	10	30	50
$M = I_{\max}/H^2$	100	150	250	300	400	700	2100	3500

Тогда высота установки прожектора

$$H = \sqrt{\frac{I}{M}}, \quad (3.4.1)$$

где $M = \frac{I_{\max}}{H_p^2}$ задается в таблице в функции E .

3.4.2.Проектирование и расчёт наружного освещения с использованием светильников с точечными источниками света

При проектировании осветительных установок открытых пространств со светильниками с точечными источниками света производят:

- а) выбор типа осветительных приборов и источников света;
- б) размещение светильников;
- в) определение необходимой мощности источников света.

При освещении открытых узких полос (улиц, дорог, проходов между зданиями и др.), как правило, применяют специальные светильники наружного освещения (РКУ 01, ЖКУ 01, СПО-200, СПЗЛ, РТУ 01 и др.). В качестве источника света применяют лампы накаливания (л.н.), люминесцентные лампы (л.л.) и газоразрядные лампы высокого давления (ГЛВД). Выбор типа источника следующий:

- а) л.л. и ГЛВД - для освещения основных дорог и проездов на заводских территориях, а также для городов и поселков – при $E_{норм} \geq 4$ лк ;
- б) л.н. – во всех остальных случаях, включая и охранное освещение территорий.

В зависимости от ширины проезжей части (освещаемой полосы) СНБ 2.04.05-98. рекомендует следующее расположение светильников:

Способ расположения светильников	Ширина проезжей части не более, м
1) на опорах с одной стороны проезжей части	12
2) в один ряд на тросах по оси проезжей части	18
3) на опорах с двух сторон проезжей части, в шахматном порядке	24
4) то же в промежуточном порядке	48
5) с двух сторон, расположенных в один ряд на раздельной полосе проезжей части	24
6) в два ряда, на тросах, по осям движения в шахматном порядке	26

При светотехническом расчете могут быть использованы два метода:

- 1) метод коэффициента использования светового потока;
- 2) точечный метод.

1. Метод коэффициента использования

Задача расчета сводится к определению необходимого расстояния L между опорами, на которых устанавливаются светильники.

Если обозначить через N_2 число рядов светильников, то

$$L = \frac{\sum_{i=1}^{N_2} \Phi_{\lambda_i} n_i \eta_i}{E_{min} \epsilon K_3} , \quad (3.4.1)$$

где $\Phi_{лi}$ – световой поток лампы в светильнике i -го ряда, лм; n_i – число ламп в светильнике i -го ряда, шт; η_i – коэффициент использования i -го ряда; E_{min} – нормируемая освещенность, лк; b – ширина освещаемой полосы; K_z – коэффициент запаса (1,3 для л.н. и 1,5 – для газоразрядных ламп).

Коэффициент использования η_i определяют по таблице в зависимости от отношения $\frac{b_i}{H_p}$, где b_i – ширина освещаемой полосы по одну сторону от ряда светильников; H_p – расчетная высота установки светильников.

Значение коэффициента использования светового потока светильников наружного освещения, отн. ед.

Тип све- тель- ника	Отношение ширины освещаемой полосы по одну сторону от ряда светильников к высоте их подвеса, b/H_p				
	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0
ПКУ 01	0,15	0,22	0,27	0,29	0,30
:					
ЖКУ 01	0,17	0,29	0,34	0,35	0,35
и т.д.					

В зависимости от расположения рядов светильников по отношению к ширине освещаемой полосы, коэффициент использования определяют сле-

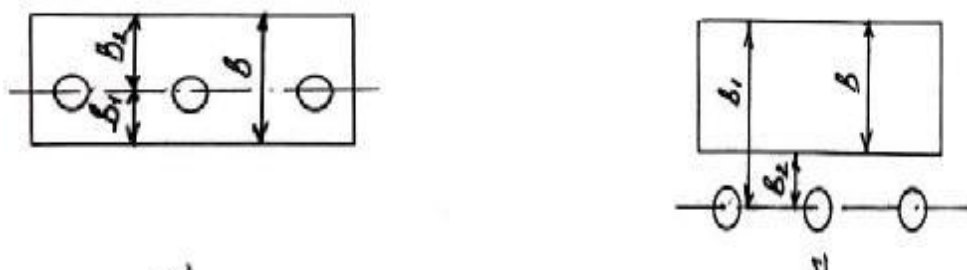


Рис.3.4.1. Схема расположения светильников на освещаемой

дующим образом

Для рис.3.4.1,а будем иметь

$$\eta = \eta_i + \eta_2 \left(\eta_1 \text{ соответствует } \frac{e_1}{H_p}, \eta_2 - \frac{e_2}{H_p} \right). \quad (3.4.2)$$

Для рис.3.4.1,б будем иметь

$$\eta = \eta_1 - \eta_2. \quad (3.4.3)$$

Необходимое число светильников N_{Σ} , располагаемых равномерно по периметру больших площадей (охранное освещение) можно определить по формуле

$$N_{\Sigma} = \frac{E_{min} S K_3}{\Phi_L n_c \eta}, \quad (3.4.4)$$

где η – коэффициент использования, определяемый для отношения $\frac{e}{H_p} = 5$.

В установках, где нормирована средняя яркость покрытия, за основу расчёта берут коэффициент использования по яркости η_L , определяемый согласно таблице

Тип светильника	Значение η_L при отношении $\frac{e}{H_p}$							
СПО 2-260	0,25	0,5	1	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0
	0,015	0,028	0,05	0,065	0,077	0,093	0,098	0,10
и т.д.								

Значение η_L определяется аналогично. По η_L определяют необходимую плотность потока Φ' в люменах на квадратный метр по формуле

$$\Phi' = \frac{L_y K_3 \pi}{\eta_L}, \quad (3.4.5)$$

где L_y – яркость, кд/м²; K_3 – коэффициент запаса.

Затем, выбрав светильник с конкретной лампой, по известному потоку лампы находят площадь, которую может осветить данный светильник

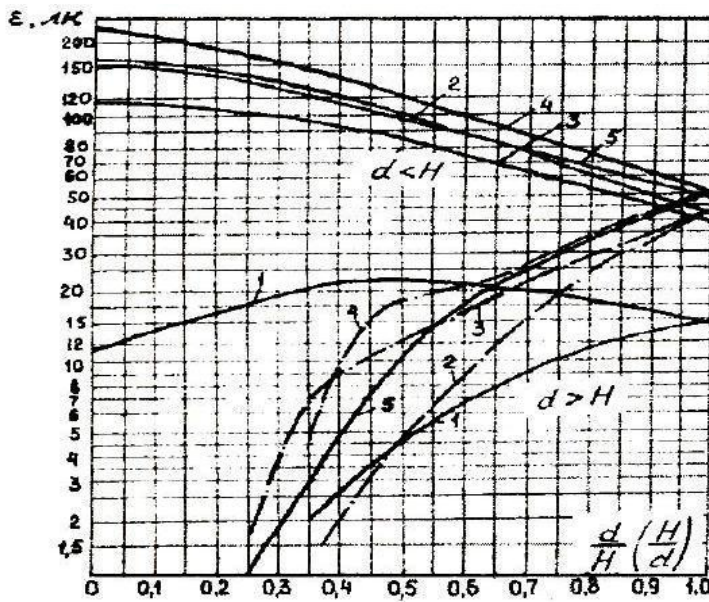


Рис.3.4.2. Кривые относительной освещенности. Светильники: 1 - СВ, СВР; 2 - СПОР; 3 - СПО-200; 4 - СПП-200М; 5 - СПО200

$$S = \frac{n_c \Phi_l}{\Phi'}, \quad (3.4.6)$$

где Φ_l – поток лампы, лм;
 n – число ламп в светильнике.

Расстояние между
 светильниками

$$L = \frac{S}{e}, \quad (3.4.7)$$

где e ширина освещаемой
 полосы.

2. Точечный метод

Точечный метод рас-
 чёта осветительных уста-
 новок открытых про-

странств может быть а) прямой и б) обратный.

При *прямом методе* расчёта известны расстояния между опорами L , расчётная высота H_p , расстояние от опор до контрольной точки $d_{i...}$. Задача расчёта заключается в определении мощности лампы, необходимой для создания требуемой минимальной освещённости E_{min} . Расчёт сводит-ся к определению суммарной относительной освещённости $\sum \varepsilon$ в кон-трольной точке с использованием кривых относительной освещённости (рис.3.4.2).

Определив $\sum \varepsilon$, рассчитывают необходимый световой поток в светильниках

$$\sum \Phi_{li} = \frac{1000 E_{min} K_3 H_p^2}{\sum \varepsilon} . \quad (3.4.8)$$

Необходимый поток лампы в светильнике

$$\Phi_l = \frac{\sum \Phi_{li}}{n_c N_2}, \quad (3.4.9)$$

где N_2 – число рядов светильников; n – число ламп в светильнике.

При *обратном методе* расчета задаются мощностью источника света (поток ламп) и определяют необходимую условную суммарную осве-щенность $\sum \varepsilon$

$$\sum \varepsilon = \frac{1000 E_{\min} K_3 H_p^2}{\sum \Phi_{\lambda_i}}. \quad (3.4.10)$$

Разделив $\sum \varepsilon$, на число равноосвещающих точек светильников, определяют условную освещенность от одного светильника ε . По известному ε и принятому типу светильника по графикам находят отношение $\frac{d}{H_p}$ (где d – кратчайшее расстояние от контрольной точки до проекции светильника на освещаемую горизонтальную поверхность). Далее, зная высоту H_p , определяют необходимое кратчайшее d . Затем из геометрических соображений определяют

$$L = 2\sqrt{d^2 - e_1^2}; \quad (3.4.11)$$

Если необходимо учесть светильники с нескольких расстояний, то определяется $\sum \varepsilon$ при нескольких L , строят вспомогательный график $\sum \varepsilon = f(L)$ и находят то значение L , при котором стандартная лампа подходит точно.

3.4.3. Расчёт прожекторного освещения

Для освещения больших открытых пространств, как правило, применяют прожекторы. Достоинства прожекторных установок:

- 1) облегчается эксплуатация, за счет сокращения числа опор;
- 2) улучшается освещение вертикальных поверхностей.

Недостатки прожекторных установок:

- 1) усиливается слепящее действие прожекторов;
- 2) появляются резкие тени от крупных объектов;
- 3) необходимость квалифицированного ухода (чистка, фокусировка).

Для освещения открытых пространств – применяют прожекторы ПСМ, ПЗС, ПЗР, ПФР и др.

В качестве источников света применяют:

- а) лампы ДРЛ мощностью 250, 400, 750 Вт (при ширине до 150 м);
- б) прожекторные лампы накаливания мощностью 500, 1000 Вт (при ширине до 300 м);
- г) галогенные лампы накаливания мощностью 1000, 1500, 2000 Вт (при ширине до 300 м);
- д) ксеноновые лампы мощностью 10, 20, 50 кВт (при ширине более 300 м).

Задачей расчета прожекторного освещения является определение необходимой высоты установки прожектора, угла наклона (θ) оптической оси прожектора к горизонту, азимута (β) установки прожектора (угол между проекцией его оси и условным направлением начала отсчета угла).

Прожекторы, как правило, располагают сосредоточенными группами на специальных мачтах или на высоких зданиях (поодиночке и небольшими группами).

Расчет ведут следующим образом:

1) Определяют наименьшую высоту установки

$$H_p \geq \sqrt{\frac{I_{\max}}{M}}, \quad (3.4.12)$$

где I_{\max} – осевая сила света одного прожектора, $кд$ (задается в справочниках); M – число, зависящее от нормируемой освещенности (см. п.3.4.1. данной лекции).

2) Определяют наивыгоднейшее значение угла наклона θ оптической оси прожектора к горизонту, (угол θ определяет площадь светового пятна, его форму и освещенность). При $\theta = \theta_{\text{наив}}$ площадь светового пятна максимальна при минимуме установленной мощности и обеспечивает требуемую освещенность. Значение $\theta_{\text{наив}}$ определяют из таблиц справочника в зависимости от произведения eH_p^2 , где e – значение освещенности, соответствующее изолуксе (кривая равной освещенности на поверхности), ее определяют по формуле

$$e = \frac{E_{\min} K_3}{2n + 1}, \quad (3.4.13)$$

где n – число наложений друг на друга исходных изолукс; E_{\min} – нормируемая освещенность; K_3 – коэффициент запаса.

3) Производят расчет изолукс, которые komponуют определенным образом для освещения горизонтальных поверхностей.

Рабочей характеристикой прожектора являются изолуксы на условной плоскости, перпендикулярной оптической оси и удаленной от прожектора на 1 м.

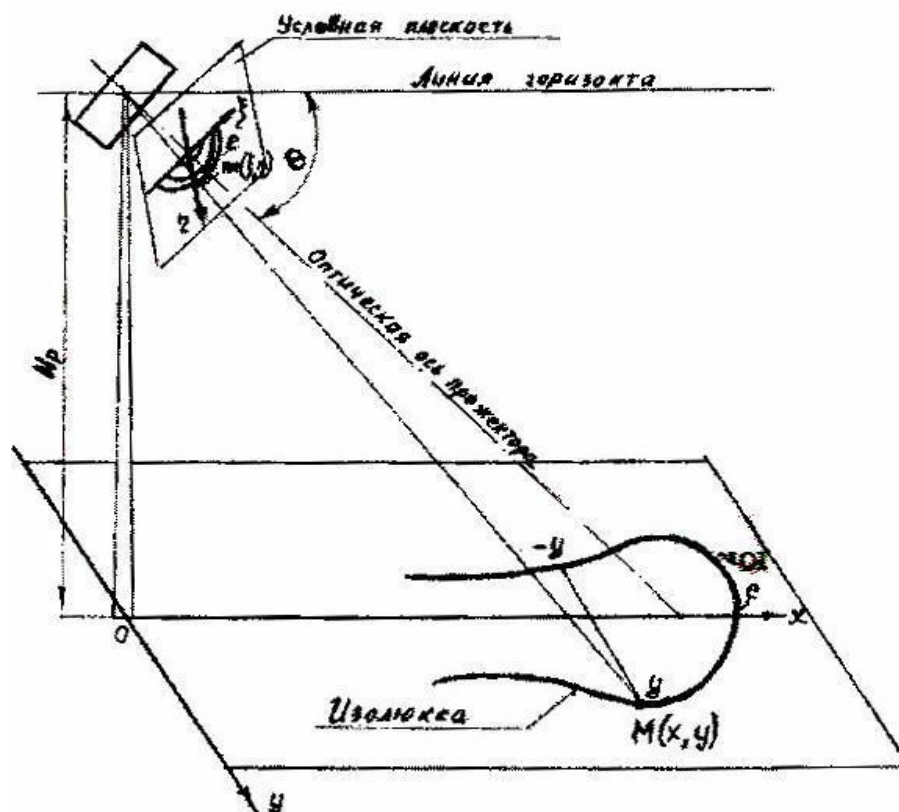


Рис.3.4.3. Схема к построению изолюксы

Координата расчетных точек M на горизонтальной плоскости и t на условной плоскости и их освещенности связаны отношением:

$$y = \eta \rho H_p, \quad (3.4.14)$$

$$\varepsilon = e \rho^3 H_p^2, \quad (3.4.15)$$

где ε – освещенность изолюксы на условной плоскости.

3.1) Таким образом, пользуясь специальной таблицей (приведенной в справочниках), задаваясь соотношением $\frac{x}{H_p}$ (обычно 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,5 и т.д.) определяют координату ζ и переводные координаты ρ и ρ^3 как показано в таблице.

θ, град	Значение ζ (верхнее число), ρ (среднее число), ρ^3 (нижнее число) при $\frac{x}{H_p}$					
8	0,05	0,5	0,75	1,5	2,0 и т.д.
	2,47	1,46	и т.д.			
	0,39	0,63				
	0,06	0,25				

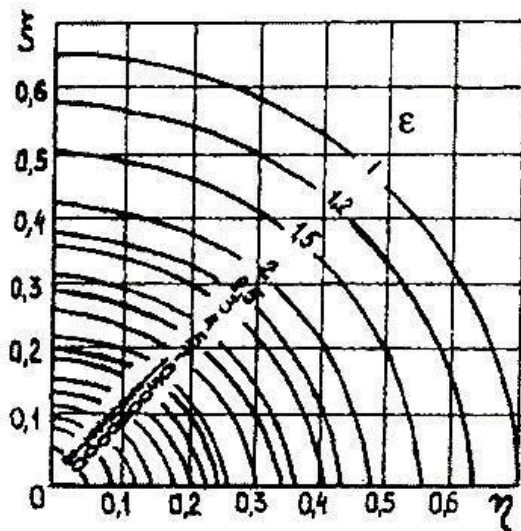


Рис.3.4.4. Изолюксы на условной плоскости

3.2) Вычисляют освещенность изолюксы на условной плоскости

$$\varepsilon = e\rho H_p^2. \quad (3.4.16)$$

3.3) Пользуясь графиками изолюкс на условной плоскости (дана в справочниках для каждого типа прожекторов), определяют значение координаты η (рис.3.4.4).

3.4) Вычисляют координату y реальной плоскости

$$y = \eta\rho H_p. \quad (3.4.17)$$

Таким образом, подсчет удобно вести в виде следующей таблицы:

x/H_p	x	ζ	ρ	ρ^3	ε	η	y

4) Строят изолюксу в масштабе (рис.3.4.5).

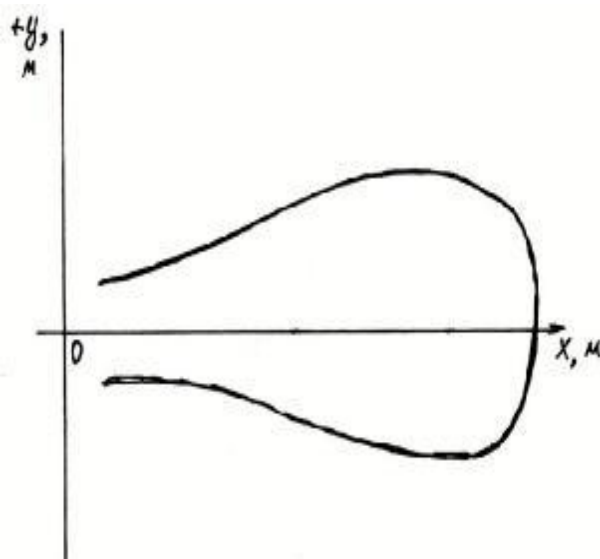


Рис.3.4.5. Изолюкса прожектора на реальной плоскости

5) Производят компоновку изолюкс на реальной плоскости так, чтобы обеспечить полное перекрытие требуемой площадки изолюксами.

При проектировании прожекторов, к основанию опоры примыкает «мертвое пространство», радиусом

$$R = H_p \operatorname{tg}(45^\circ - \Theta), \quad (3.4.18)$$

где Θ – угол наклона оси прожектора к горизонту в градусах.

Расчет прожекторных установок можно производить также следующим образом. Установленная мощность прожекторной установки:

$$P_{уст.} = mE_n K_3 S, \quad (3.4.19)$$

где $m = 0,5 \dots 0,9$ Вт/лм для л.н., $m = 0,25 \dots 0,30$ Вт/лм для газоразрядных ламп; S – площадь, м^2 .

По $P_{уст}$ выбирают число, тип прожектора и его светотехнические данные.

Высота установки $H = \sqrt{\frac{I_o}{360}}$, затем определяют угол наклона оптической оси к горизонту в вертикальной плоскости (см. рис.3.4.6.)

$$\theta = 1^\circ + \arcsin \sqrt{\frac{\pi \sin(4\beta_g) \operatorname{tg}(2\beta_z)}{2\Phi_l \eta}} E_n K_3 H^2, \quad (3.4.20)$$

где Φ_l – поток лампы; η – КПД; β_g, β_z – половинные максимальные углы рассеивания в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Светораспределение прожектора моделируется формулой

$$I_\beta = I_o [(1 + \cos n\beta) / 2]^M, \quad (3.4.21)$$

где n, M – коэффициенты (приводятся в табл. справочников).

Расстояние «мертвой зоны»

$$l_1 = H [\operatorname{tg}(0,9\beta_g + \theta)]^{-1}. \quad (3.4.22)$$

Освещенность в любой точке площадки:

$$E = \frac{I_\beta \sin^3(\theta \pm \beta)}{K_3 H^2}. \quad (3.4.23)$$

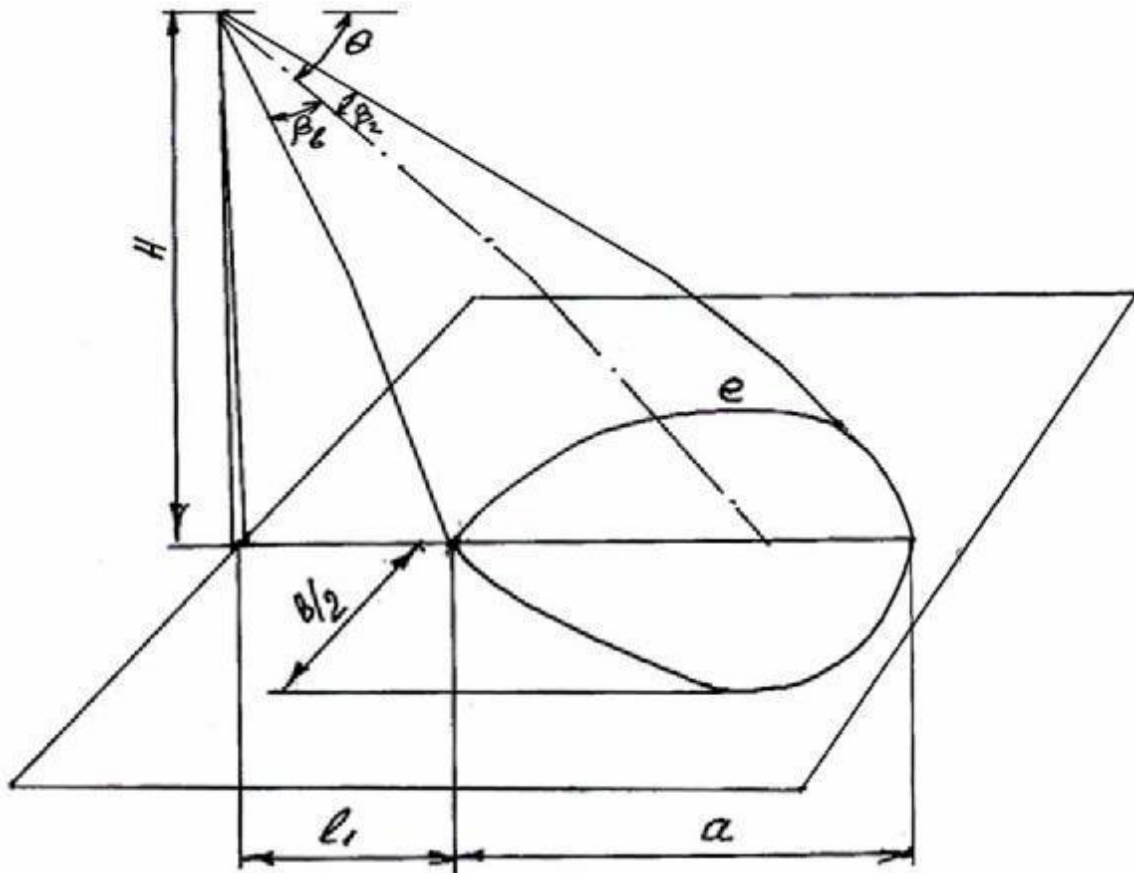


Рис. 3.4.6. К расчету прожекторной установки

3.5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

3.5.1 Порядок проектирования электрической части осветительных установок

Электрическая часть осветительных установок включает в себя:

- электропроводку;
- аппаратуру защиты и управления;
- установочное электрооборудование.

Электропроводкой называется совокупность проводов (кабелей) с относящимися к ним креплениями, поддерживающими защитными конструкциями и деталями.

Аппаратура защиты: предохранители, автоматические выключатели, УЗО - обеспечивает защиту осветительной сети и установки от воздействия токов короткого замыкания и токов перегрузки.

Установочное электрооборудование – понижающие трансформаторы, выключатели, розетки, фотоэлектрические автоматы, магистральные и групповые щитки, вводно-распределительные устройства и т.д.

При проектировании электрической части осветительной установки производят:

- 1) выбор и обоснование напряжения источника питания;
- 2) разработку рациональной схемы питания и управления освещением и выбор осветительных щитков;
- 3) оптимальный выбор материала токоведущих жил и марки проводов (кабелей) и способа их прокладки;
- 4) подсчет электрических нагрузок и расчет сечения проводников;
- 5) выбор защиты электрических сетей от аварийных режимов и расчет уставок защитных аппаратов;
- 6) расчет и выбор устройств (при необходимости) компенсации реактивной мощности;
- 7) разработку мероприятий, обеспечивающих электробезопасную эксплуатацию и обслуживание осветительных установок.

3.5.2. Содержание вопросов проектирования

Выбор напряжения питания источника производят исходя из следующего.

Для питания светильников общего освещения должно применяться напряжение не выше 380/220 В переменного тока при заземленной нейтрали и не выше 220 В переменного тока при изолированной нейтрали и постоянного тока.

Для питания отдельных ламп следует применять, как правило, напряжение не выше 220 В.

Фазное напряжение системы 660/380 В допускается использовать для питания специальных ламп (ксеноновых, ДРЛ, ДРИ, ДНаТ, рассчитанных на напряжение 380 В).

Сопоставление осветительных установок с напряжением 380/220 В и 220/127 В позволяет сделать следующие выводы:

1) применение системы 380/220 В характеризуется экономией проводникового материала и одновременным повышением расхода электроэнергии на 10 – 12 % за счет более низкой световой отдачи ламп накаливания 220 В по сравнению с лампами 127 В;

2) применение системы 380/220 В обеспечивает возможность питания силовых и осветительных нагрузок от общих трансформаторов;

3) применение системы 380/220 В характеризуется уменьшением первоначальных затрат на 5 . . . 10 % и одновременным увеличением эксплуатационных расходов на 8 . . . 10 % по сравнению с системой 220/127 В.

Сети с изолированной нейтралью напряжением 220 В и ниже применяют, в основном, в специальных электроустановках при повышенных требованиях электробезопасности.

Постоянный ток используют для резервного питания особо ответственных осветительных приемников и в специальных электроустановках.

Сети напряжением 220/127 В переменного тока при заземленной нейтрали в отдельных случаях сохраняются при реконструкции и расширении.

Напряжение 42 В (у нас 36 В) применяют:

- при высоте светильника от пола менее 2,5 м в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных (местное освещение на станках);
- при питании переносных светильников.

Напряжение 12 В применяют в особо неблагоприятных условиях (стесненность, вода).

Разработку рациональной схемы питания начинают с выбора питающей и групповой сети, которые включают в себя групповые и распределительные щиты и электропроводку, предназначенную для передачи энергии от источника питания к потребителю (рис. 3.5.1).

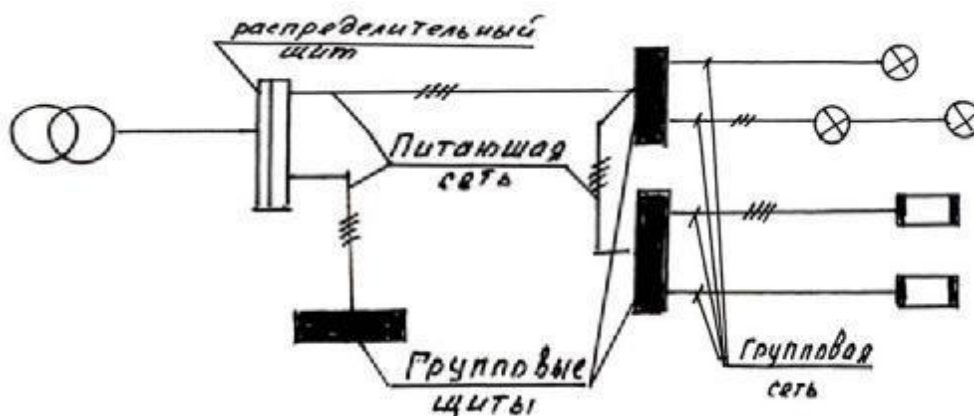


Рис. 3.5.1. Электрическая осветительная сеть

Распределительный щит включает в себя предохранители или автоматические выключатели, общий рубильник или автоматический выключатель, предназначенные для защиты питающей сети.

Групповой щит включает предохранители или автоматические выключатели, предназначенные для защиты групповых сетей.

К питающей сети относят участки сети от источника питания до групповых щитков.

Групповые сети – это сети, соединяющие светильники с групповыми щитками.

Питающая сеть в зависимости от её выполнения бывает трёх типов:

1) *радиальная* – которая на всем протяжении до группового щитка не имеет ответвлений;

2) *магистральная* – когда каждая линия питающей сети (магистраль) предназначена для питания нескольких групповых щитков;

3) *радиально-магистральная* – когда схема включает в себя признаки радиальной и магистральной сети.

При выборе схемы питающей сети необходимо учитывать:

1) бесперебойность действия осветительной установки;

2) технико-экономические показатели (минимальные приведенные затраты, расход металла и др.);

3) удобства управления и простоту эксплуатации.

При выборе схемы питания необходимо учитывать требования надежности электроснабжения. В зависимости от требуемой надежности электроснабжения осветительные установки делят на три категории:

I категория – осветительные установки, нарушение электроснабжения которых влечет значительный материальный ущерб, расстройство технологии процесса, перерыв в электроснабжении которых не должен иметь места или допускается лишь на время автоматического включения резерва (АВР). (не более 30 минут). Питание установок I категории обеспечивают от двух независимых источников. (Резервные источники должны вводиться через 30 минут, либо автоматически).

II категория – осветительные установки, для которых допускаются перерывы в электроснабжении на время, необходимое для ручного включения резерва дежурным персоналом или выездной бригадой. Перерыв в электроснабжении допускается до 3,5 часов. Практически установки II категории обеспечиваются автоматическим вводом резерва (АВР).

III категория – все прочие осветительные установки, допускающие перерыв питания на время ремонта или замены поврежденного элемента (до одних суток).

После выбора схемы питания производят компоновку сети. Компоновку осветительной сети начинают:

1) с разделения светильников на группы, стремясь распределять общую нагрузку равномерно по фазам питающей сети;

2) намечают расстановку распределительных и групповых щитков;

3) наносят трассы питающих и групповых сетей.

Разделение светильников на группы производят исходя из следующего: каждая групповая линия, как правило, должна содержать на фазу не более 20 ламп накаливания, ДРЛ, ДРИ, ДНаТ; в это число включаются также штепсельные розетки. Для групповых линий с люминесцентными лампами, а также линий, питающих световые карнизы, панели и т.д., допускается присоединять до 50 ламп на фазу. В жилых и общественных зданиях на однофазные группы освещения лестниц, этажных коридоров, холлов, технических подполий и чердаков допускается присоединять до 60 л.н. каждая мощностью до 60 Вт. В групповых линиях, питающие лампы мощностью 10 кВт и более на каждую фазу подключают не более 1 лампы.

При выборе трассы прокладки сети следует учитывать конструктивные, эксплуатационные и эстетические требования. Линия проводки должна проходить параллельно или перпендикулярно к плоскостям и углам стен и потолка помещения.

В высоких помещениях (производственных) часто бывает целесообразно осуществлять прокладку на тросе. При этом светильники можно располагать на сравнительно небольшой высоте. Это облегчает доступ к ним, упрощает монтаж и дает экономию проводов за счет сокращения длины спусков к светильникам.

Выбор *материала токоведущих жил* производят исходя из следующего, во всех случаях, где это возможно и не оговорено дополнительными условиями, необходимо использовать провода и кабели с алюминиевыми жилами. Провода и кабели с медными жилами следует применять в следующих случаях:

- 1) для взрывоопасных помещений классов В-1 и В-1а;
- 2) в помещениях с химически активной средой, разрушающе действующей на алюминий;
- 3) для зарядки светильников подвесных, на кранах и переносных;
- 4) при прокладке по вибрирующим основаниям;
- 5) в зрелищных предприятиях для сцены, арены, эстрады, киноаппаратной и др.;
- 6) для открытых проводок в чердачных помещениях.

Выбор способа прокладки и марки проводов в данном помещении производят в зависимости от среды в нем.

Электрические осветительные сети внутри помещений выполняют изолированными проводами или кабелями с резиновой, поливинилхлоридной или найритовой изоляцией. Защитные оболочки кабелей выполняют из поливинилхлорида или найрита.

Проводки осветительной сети бывают открытые и скрытые.

Открытая проводка предусматривает прокладку проводов и кабелей непосредственно по поверхностям стен и потолков, внутри стальных или пластмассовых труб, в лотках и коробах. Этот вид проводки наиболее дешевый.

Скрытая проводка предусматривает прокладку проводов в пластмассовых или стальных трубах, укладываемых скрыто под штукатуркой или в полах. Проводка, проложенная в пустотах плит, тоже является скрытой.

Для подключения групповых сетей к питающим, защиты и управления групповыми сетями, выбирают групповые щиты.

Групповые щиты выбирают по:

- исполнению по степени защиты от окружающей среды;
- способу установки;
- количеству групп;
- величине расчетного тока сети.

По защите от окружающей среды и способу установки групповые щиты бывают:

- защищенные открытой установки;
- защищенные утопленной установки;
- пыленепроницаемые;
- взрывонепроницаемые.

Для защиты от аварийных режимов (короткого замыкания и перегрузки) групповые щиты укомплектованы, главным образом, автоматическими выключателями, иногда плавкими предохранителями. Защиту от токов утечки могут осуществлять устройства защитного отключения (УЗО).

Номинальный ток автоматических выключателей и ток расцепителей автоматических выключателей принимают по величине расчетного тока сети.

а) для однофазной сети:

$$I_p = \frac{P_p}{U \cos \varphi}; \quad (3.5.1)$$

б) для трёхфазной сети:

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3}U \cos \varphi}, \quad (3.5.2)$$

где P_p – расчетная мощность:

$$P_p = P_y K_c, \quad (3.5.3)$$

где P_y – установленная мощность; K_c – коэффициент спроса.

Групповые щиты размещают в центре электрических нагрузок, в местах, удобных для обслуживания. Щиты, используемые для управления, ставят на высоте ≤ 2 м до верхней кромки щита. Щиты, не используемые для управления – на высоте 2,5 – 3 м.

Длину l групповых линий, подключаемых к групповым щиткам, принимают: при четырех проводной линии напряжением 380/220 В не более 80 м; при двух проводной линии напряжением 380/220 В не более 35 м.

Количество групповых щитов можно определить по формуле

$$n_{щ} = \frac{\sqrt{A^2 + B^2}}{2r}, \quad (3.5.4)$$

где A , B – длина и ширина здания; r – рекомендуемая протяженность групповой линии.

Координаты центра электрических нагрузок

$$x_{\text{ц}} = \frac{\sum P_i x_i}{\sum P_i} ; \quad y_{\text{ц}} = \frac{\sum P_i y_i}{\sum P_i}, \quad (3.5.5)$$

где P_i, x_i, y_i – мощность и координаты i – й нагрузки.

3.6. РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

3.6.1. Определение допустимых потерь напряжения

Величину допустимых (располагаемых) потерь напряжения в сети определяют из выражения:

$$\Delta U_{\partial} = U_{x.x} - U_{\min} - \Delta U_T, \quad (3.6.1)$$

где ΔU_{∂} – допустимая потеря напряжения в сети, %; $U_{x.x}$ – номинальное напряжение при х.х. трансформатора, %; U_{\min} – допустимое напряжение у наиболее удалённых ламп, %; ΔU_T – потеря напряжения в трансформаторе, приведённая ко вторичному напряжению, %.

Номинальное напряжение U_{\min} определяют из следующего:

1) снижение напряжения по отношению к номинальному не должно у наиболее удалённых ламп превышать:

а) 5% – у ламп рабочего освещения промышленных и общественных зданий, а также прожекторного освещения наружных установок;

б) 5% у ламп рабочего освещения жилых зданий, наружного освещения, выполненного светильниками и аварийного освещения;

в) 10% – у ламп 12-36 В, считая от выводов низшего напряжения понижающих трансформаторов;

2) наибольшее напряжение у ламп должно быть не более 105 % номинального.

Потеря напряжение в трансформаторе

$$\Delta U_T = \beta (U_{a.T} \cos \varphi + U_{p.T} \sin \varphi), \quad (3.6.2)$$

где: β – коэффициент загрузки трансформатора; $U_{a.T}, U_{p.T}$ – активная и реактивные составляющие напряжения трансформатора, %; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности на зажимах вторичной обмотки трансформатора.

Активная и реактивная составляющие напряжения трансформатора:

$$U_{a.T} = \frac{P_K}{S_H} 100, [\%]; \quad (3.6.3)$$

$$U_{p.T} = \sqrt{U_K^2 - U_{a.T}^2}, [\%] \quad (3.6.4)$$

где: P_K – потери к.з., кВт; S_H – номинальная мощность трансформатора кВА; U_K – напряжение к. з, %.

В практических расчётах осветительных установок (расчёт внутренних сетей) принимают $\Delta U_{\partial} = 2,5\%$.

3.6.2. Расчёт электрической сети по допустимым потерям напряжения

Задача расчета – определить сечение токопроводящих жил проводов, гарантирующих необходимое напряжение на источнике света, допустимую плотность тока и механическую прочность.

Сечение токопроводящих жил проводов определяют исходя из двух условий:

- допустимого отклонения напряжения у потребителя;
- допустимого нагрева проводов электрическим током.

Расчёт выполняют по одному из условий, а по другому – проверяют. Короткие линии считают по допустимому току нагрева. Длинные линии с малой плотностью нагрузки (наиболее характерны для с. х. п.) рассчитывают по отклонению напряжения. Для внутренних осветительных сетей допускается потеря напряжения 2,5 % U_H .

При расчёте осветительных сетей пользуются понятием момента нагрузки. Момент нагрузки определяют по одному из следующих выражений (рис3.6.1):

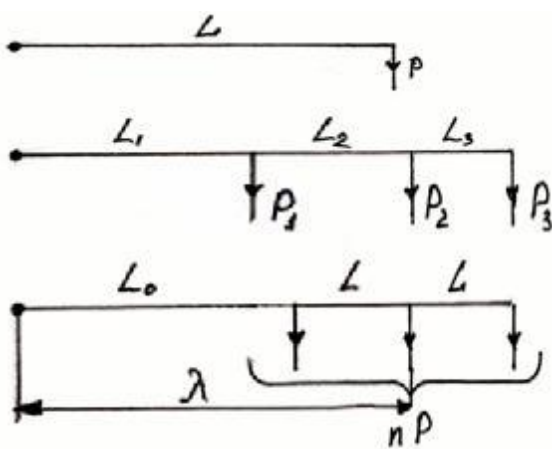
$$M = P_1 L; \quad (3.6.5)$$

$$M = P_1 L_1 + P_2 (L_1 + L_2) + P_3 (L_1 + L_2 + L_3); \quad (3.6.6)$$

$$M = n P \lambda, \quad (3.6.7)$$

где: λ – приведённая длина до центра нагрузки:

$$\lambda = L_0 + \frac{L(n-1)}{2}; \quad (3.6.8)$$



При расчёте разветвлённой питающей сети и при одновременном расчёте питающей и групповой сетей, распределение ΔU между участками следует проводить по условиям минимума расхода проводникового материала. При этом необходимо пользоваться следующей формулой:

$$S = \frac{\sum M + \alpha \sum m}{c \Delta U_{\delta}}, \quad (3.6.9)$$

Рис. 3.6.1. К определению момента нагрузки

где: $\sum M$ – сумма моментов данного, и всех последующих участков с тем же числом проводников, что и на

данном участке, кВт м; $\alpha \sum m$ – сумма приведённых моментов всех ответвлений, имеющих иное число проводов, чем на рассчитываемом участке, кВт м; α – коэффициент приведения, зависящий от числа проводов, на рассчитываемом участке и в ответвлениях (приводится в справочниках); c – коэффициент, зависящий от напряжения сети, материала проводов и системы сети; ΔU_{δ} – допустимые потери напряжения, %.

Если на рассчитываемом участке и на ответвлениях число проводов одинаково, то сечение проводов на главном участке определяют по формуле:

$$S = \frac{\sum P_p l}{c \Delta U}, \quad (3.6.10)$$

где $P_p l$ – момент нагрузки на участках.

Расчёт начинают с составления расчётной схемы, на которой показывают все осветительные щиты и группы, число проводов и длину групп, мощность источников света и места ответвления. Пример расчётной схемы приведен на рис.3.6.2. Мощности равномерно распределённой нагрузки могут заменяться равнодействующей, приложенной в центре этих нагрузок.

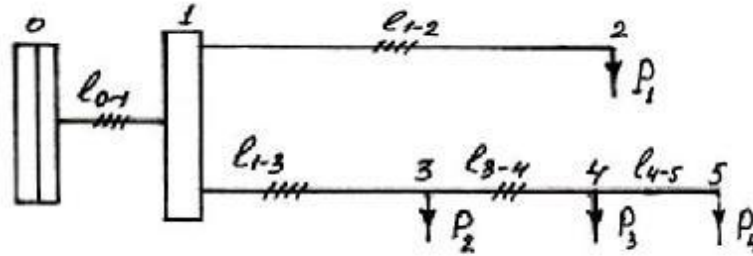


Рис.3.6.2. Расчётная схема осветительной сети

При определении моментов мощности пользуются расчётной мощностью $P_{расч.}$, кВт

$$P_{расч.} = P_{уст} K_c, \quad (3.6.11)$$

где: $P_{уст}$ – установленная мощность источников излучения, определённая в светотехническом расчёте, кВт; K_c – коэффициент спроса, характеризующий одновременность работы потребителей (для групповых линий $K_c=1$).

При использовании в осветительных установках газоразрядных источников излучения необходимо учитывать потери мощности в пускорегулирующих устройствах. Для люминесцентных ламп они составляют 20...30 %, а для ламп типа ДРЛ-8...12 %.

Из выражения (3.6.9) сечение проводов на головном участке 0-1 равно:

$$S_{0-1} = \frac{(P_1 + \dots + P_4)l_{0-1}K_c + P_1l_{1-2} + (P_2 + P_3 + P_4)l_{1-3} + (P_3 + P_4)l_{3-4}\alpha_{4-3} + P_4l_{4-3}\alpha_{4-2}}{C_4\Delta U} \quad (3.6.12)$$

Полученное по расчёту сечение головных участков сети округляют до ближайшего большего стандартного.

После окончательного выбора сечения проводов на головном участке определяют фактические потери напряжения на нем, для чего уравнение (3.6.9) решают относительно ΔU :

$$\Delta U_{0-1} = \frac{(P_1 + P_2 + \dots + P_4)l_{0-1}K_c}{C_4S_{0-1(ГОСТ)}}, \quad (3.6.13)$$

где $S_{0-1(ГОСТ)}$ – стандартное сечение провода на участке 0-1, $мм^2$.

Сечение проводов на последующих участках определяют по значению располагаемых потерь напряжения за вычетом потерь на предшествующих участках электрической сети. Например, сечение проводов на участке 3-4 равно:

$$S_{3-4} = \frac{(P_3 + P_4)\ell_{3-4} + P_4\ell_{4-5}\alpha_{3-2}}{C_3(\Delta U - \Delta U_{0-1} - \Delta U_{1-3})}. \quad (3.6.14)$$

3.6.3. Проверка сечения проводов электрической сети по допустимому току, механической прочности и на соответствие номинальному току защитного аппарата

Сечение провода проверяют на *механическую* прочность и по *допустимому току* нагрева:

$$S \geq (S_{\text{доп}})_{\text{мех}}; \quad I_p \leq I_{\text{доп}}, \quad (3.6.15)$$

где I_p – расчетный ток участка сети; $I_{\text{доп}}$ – допустимый ток провода; $(S_{\text{доп}})_{\text{мех}}$ – допустимое сечение провода по механической прочности.

После определения сечения проводов производят выбор уставок защитных аппаратов.

Превышение тока над допустимым для принятого сечения провода ведёт к его нагреву, что может вывести сеть из строя, вызвать нагрев, взрыв и т.д.

Причина – короткое замыкание, перегрузка.

Защиту от токов к.з. выполняют во всех случаях.

Защиту от токов перегрузки производят: а) в производственных взрывоопасных помещениях, если провода с горючей оболочкой; б) во всех прочих помещениях (пожароопасные, взрывоопасные, служебные, бытовые и т. д.).

Аппараты защиты групповой сети устанавливают в местах присоединения защищаемых проводов к питающей линии (распределительные щиты, групповые щиты). В нулевых проводах аппараты защиты устанавливать запрещено, за исключением взрывоопасных помещений класса В-1.

Аппараты защиты: 1)автоматические выключатели; 2)плавкие предохранители.

Номинальные токи плавких вставок и уставок расцепителей автоматических выключателей выбирают исходя из табл.3.6.1.

3.6.1. Выбор уставок защитных аппаратов

Тип защитного аппарата	Лампы накаливания		Люминесцентные лампы	Газоразрядные лампы высокого давления
	$P_{\text{л}} \leq 300 \text{ Вт}$	$P_{\text{л}} \geq 300 \text{ Вт}$		
Предохранители	$I_{\text{п.в.}} \geq I_p$	$I_{\text{п.в.}} \geq 1,2I_p$	$I_{\text{п.в.}} \geq I_p$	$I_{\text{п.в.}} \geq 1,2I_p$
Автоматические выключатели	$I_T \geq 1,4I_p$	$I_T \geq 1,4I_p$	$I_T \geq I_p$	$I_T \geq 1,4I_p$
	$I_K \geq 1,4I_p$	$I_K \geq 1,4I_p$	$I_K \geq I_p$	$I_K \geq 1,4I_p$

Для обеспечения селективности срабатывания защит, номинальный ток каждого последующего аппарата в направлении к источнику питания, следует принимать не менее чем на две ступени большим, чем у предыдущего аппарата, если это не ведет к завышению площади поперечного сечения проводов сети.

Выбрав стандартную плавкую вставку или уставку автоматического выключателя, следует согласовать ток уставки или вставки с допустимым током провода.

Если соотношение между длительно допустимым током провода и током вставки защитного аппарата не соответствует нормируемому значению, то необходимо производить следующую проверку. В установках с глухим заземлением нейтрали проводники должны быть выбраны таким образом, чтобы при коротком замыкании возникал ток, превышающий не менее чем в три раза номинальный ток плавкой вставки предохранителя, теплового или комбинированного расцепителя автоматического выключателя. Во взрывоопасных помещениях это соотношение должно быть не менее 4 при предохранителях и 6 при автоматических выключателях.

Ток однофазного к.з.:

$$I_{\kappa}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_m}{3} + Z_n}, \quad (3.6.16)$$

где: U_{ϕ} – фазное напряжение сети, В; Z_m – полное сопротивление трансформатора, Ом; Z_n – полное сопротивление петли фаза – ноль, Ом.

При защите автоматическими выключателями, имеющими только электромагнитный расцепитель, ток короткого замыкания должен быть в 1,4 раза больше тока срабатывания расцепителей автоматических выключателей до 100А и в 1,25 раза больше для автоматических выключателей на ток более 100А.

3.6.3. Компенсация реактивной мощности в электрических сетях

При использовании в осветительных установках газоразрядных источников излучения возникает необходимость компенсации реактивной мощности, так как естественный $\cos \varphi$ таких источников составляет 0,5...0,6. Компенсация может быть индивидуальной, когда компенсирующие конденсаторы устанавливаются у каждой лампы, и групповой, когда конденсаторы устанавливаются на групповых линиях, в питающей сети или на шинах подстанции.

В соответствии с требованиями ПУЭ люминесцентные лампы следует применять с пускорегулирующими аппаратами, обеспечивающими коэффициент мощности не ниже 0,92 (одноламповые – не ниже 0,85). Все выпускаемые промышленностью светильники с люминесцентными лампами снабжены компенсирующими конденсаторами. Для светильников с газоразрядными лампами высокого давления применима как индивидуальная, так и групповая компенсация. Выбор того или иного вида определяется технико-экономической целесообразностью.

Мощность компенсирующей установки (квар) определяют по формуле:

$$Q = P_{расч}(tg \varphi_1 - tg \varphi_2), \quad (3.6.17)$$

где: $P_{расч}$ – расчётная суммарная мощность осветительной установки, кВт;
 φ_1, φ_2 – углы сдвига фаз соответственно до и после компенсации.

Обычно конденсаторы при групповой компенсации включают по схеме “треугольник”, что позволяет уменьшить суммарную емкость батарей. Требуемую для компенсации реактивной мощности емкость (мкф) определяют по выражению:

$$C = \frac{Q 10^3}{2 \pi f U^2}, \quad (3.6.18)$$

где: f – частота сети, Гц; U – напряжение сети, В.

Для устранения опасного напряжения на зажимах батареи после отключения применяют специальные разрядные резисторы, включаемые параллельно батарее конденсаторов. В их качестве могут быть использованы лампы накаливания. Разрядный резистор выбирают таким, чтобы потери в нем не превышали 1Вт на 1 кВар мощности батареи, а напряжение на нем через 30с после отключения не превышало 65В.

Сопротивление разрядного резистора (Ом):

$$R_{разр} \leq 15 \cdot 10^6 \frac{U^2}{Q}, \quad (3.6.19)$$

где U – напряжение, кВ; Q – реактивная мощность, кВар; R – активное сопротивление, Ом.

Проводники компенсирующей установки присоединяют к проводам групповой сети питания ламп внутри щитка от выходных клемм автоматического выключателя, т.к., согласно ПУЭ, рекомендуется одновременное включение и отключение компенсирующих устройств с аналогичными операциями на оборудовании.

ТЕМА 4. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ОБСЛУЖИВАНИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

4.1. МОНТАЖ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

4.1.1. Технология монтажа и индустриализация работ при монтаже осветительных установок

Монтаж осветительных установок включает следующие работы:

а) подготовительные (на объекте монтажа); б) заготовительные (в мастерской электромонтажных заготовок); в) монтаж на месте.

Подготовительные работы: разметка мест установки светильников и поддерживающих их конструкций, пробивка отверстий, проходов, гнезд для установки креплений, деталей.

Во время *заготовительных* работ проверяют исправность и комплектность светильников. Неукомплектованные светильники заряжают, т.е. прокладывают провод от патрона или ламподержателя до зажимов, к которым присоединяют провод или кабель сети. Для зарядки используют провод ПРК, ПРКС. На объект монтажа светильники поступают исправными и чистыми.

Монтаж на месте сводится к креплению светильников и присоединению к ним питающих проводов и заземлению нетоковедущих частей. Светильники присоединяют к питающей электропроводке с помощью вводных блоков, колодок зажимов, механических сжимов, штепсельных соединений. Металлические корпуса светильников заземляют путем присоединения проводника РЕ к заземляющему винту корпуса светильника. Фазный и рабочий нулевой N проводники подключают к вводному блоку.

4.1.2. ТРЕБОВАНИЯ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ К ЭКСПЛУАТАЦИИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Понятие, «*эксплуатация осветительных установок*» включает в себя комплекс технических и организационных мероприятий от реализации которых зависит эффективность использования искусственного освещения.

Прием в эксплуатацию должен осуществляться по исполнительным рабочим чертежам: планам, схемам питающей сети, характерным разрезам.

При приеме проверяют:

- соответствие проекту мощности ламп и их типа;
- фактическую освещенность;
- соответствие проекту марок проводов, их сечений и способа прокладки;
- схемы соединений проводов и распределение нагрузки по фазам;
- соответствие проекту защитных элементов;
- надежность закрепления изоляционных опор, аппаратов, деталей конструкции и т.п.;
- соответствие нормам сопротивления изоляции проводов;
- качество выполнения защитного заземления.

С помощью люксметра выборочно проводят измерения освещенности на рабочих поверхностях при номинальном напряжении сети. При этом нужно иметь в виду, что в новой установке освещенность должна превышать нормируемую на величину коэффициента запаса.

Эффективность осветительной установки находится в прямой зависимости от того, как осуществляется ее эксплуатация. Правильно запроектированная и хорошо выполненная осветительная установка не может создать требуемых условий, если не будут производить своевременную чистку, замену ламп и систематический ремонт элементов.

Как вы знаете, в процессе эксплуатации снижается уровень освещенности за счет снижения светового потока, коэффициента использования, загрязнения стен, потолка. Это снижение компенсируют введением коэффициента запаса K_z , однако K_z рассчитан на определенные условия эксплуатации, предполагающие определенные сроки чистки светильников.

В соответствии с требованиями строительных норм, периоды регулярной чистки светильников зависят от количества пыли, дыма и копоти, выделяемых в помещении:

а) производственные помещения:

10 мг/м ³	срок чистки	не реже 2 раза в месяц;
5 – 10 мг/м ³	-«-	не реже 1 раза в месяц;
менее 5 мг/м ³	-«-	не реже 1 раза в 3 месяца;

б) территории (площадки предприятий):

более 5 мг/м ³	срок чистки	1 раз в 3 месяца;
0,5 мг/м ³	-«-	1 раз в 6 месяцев;

в) улицы, площадки, дороги:

независимо от содержания пыли чистка 1 раз в 6 месяцев.

Чистку можно производить в зависимости от объема и трудоемкости:

а) на месте установки, б) в мастерской.

Своевременную замену ламп проводят *групповым* или *индивидуальным* методами.

При групповом методе обычно сроки замены приурочивают к срокам чистки.

В период между плановыми чистками и групповой заменой ламп допускается эксплуатация с перегоревшими лампами, если освещенность не снижается более чем на 10 %.

Замененные лампы при групповом способе можно использовать во вспомогательных помещениях.

Ежегодные расходы по эксплуатации одной световой точки:

а) индивидуальная замена

$$A_1 = T/T_1 (a+b), \quad (4.1.1)$$

б) групповая замена

$$A_2 = T/T_2 (a+c), \quad (4.1.2)$$

где T – число часов горения в год; T_2 – число часов между двумя групповыми заменами; T_1 – то же между двумя индивидуальными заменами;

a – стоимость одной лампы; b – стоимость работ по замене одной лампы при индивидуальном методе; c – то же при групповом методе.

Если $A_1 > A_2$, то принимают групповую замену, если $A_1 < A_2$ – то индивидуальную.

На предприятии должен быть запас ламп

$$n = \frac{NT_{год}K_3}{\tau_{cp}}, \quad (4.1.3)$$

где N – количество ламп; T – годовое число часов использования осветительной установки; K_3 – коэффициент запаса; τ_{cp} – средняя продолжительность горения ламп.

Правильная эксплуатация осветительных установок предусматривает проведение планово-предупредительных ремонтов.

4.1.1 Сроки планово-предупредительных осмотров и ремонтов элементов осветительных установок

Элементы осветительных установок	Помещения с нормальной средой и наружное освещение	Прочие помещения
Щитки, выключатели розетки	1 раз в 4 месяца	1 раз в 2 месяца
То же аварийное освещение	1 раз в 2 месяца	1 раз в месяц
Проверка устройств автоматического переключения аварийного освещения	1 раз в сутки	1 раз в сутки

Осмотру и ремонту подлежат: осветительные щитки, понижающие трансформаторы, выключатели, розетки, предохранители, осветительные приборы, патроны, ламподержатели и т.д.

Системный контроль освещенности проводят 1 раз в год выборочно. При этом отклонение напряжения должно быть в пределах $+3 - 2,5\%$.

Персонал, обслуживающий осветительную установку, должен пройти инструктаж по правилам эксплуатации и технике безопасности.

Одной из главных причин несвоевременной чистки светильников и замены ламп является трудность доступа к светильникам, расположенным на высоте. Поэтому для доступа используют:

- приставные лестницы;
- стремянки;
- передвижные напольные подъемные устройства;
- грузоподъемные краны;
- передвижные прицепные мостики;
- самоходные мостики.

Для наружных осветительных установок могут применять также телескопические и другие вышки.

Наиболее простым и широко применяемым способом доступа является обслуживание со стремянок и приставных лестниц. Недостаток этого способа: неудобство работы, повышение трудоемкости, недостаточная безопасность. Поэтому подобные устройства целесообразно заменять специальными приспособлениями, которые широко используются за рубежом.

Современные осветительные установки имеют большое количество сложных осветительных приборов и нуждаются в соответствующем обслуживающем персонале, который определяют в зависимости от установленной мощности:

Суммарная мощность осветительной установки, кВт	Обслуживающий персонал
250 – 750	1 техник-светотехник
750 – 2000	1 инженер-светотехник
> 2000	1 инж.-свет. + 1 техн. светотехник.

Численность электромонтеров не нормируется и определяется рядом факторов: способом доступа к светильникам, типом источника света, конструкцией светильников. Ориентировочно численность и персонал для обслуживания осветительных установок можно определить по таблицам «Инструктивных указаний» института «Тяжпромэлектропроект» №8, 1992 год.

4.1.3. Основы управления осветительными установками

Требования, предъявляемые к управлению процессами освещения, зависят от характера соответствующего технологического процесса. Общие требования, предъявляемые как к тем, так и другим процессам автоматического управления, заключаются в том, что они (процессы): 1) должны обеспечивать оптимальное протекание соответствующего технологического процесса, 2) способствовать экономии электрической энергии, 3) удовлетворять требованиям электробезопасности, 4) быть надежным в работе.

Специфические особенности автоматического управления осветительными установками определяются в каждом конкретном случае характером технологического процесса.

Так, например, разработка оптимальных режимов освещения животноводческих и в особенности птицеводческих помещений, требует учета интенсивности, периодичности и спектрального состава освещения применительно к различным возрастным и продуктивным группам животных. Необходимо детально изучить влияние на организм животных фотопериодов, различных областей видимого света, а также всего комплекса оптического излучения в сочетании с ионизацией воздуха и другими факторами окружающей среды, создать более совершенные недорогие и доступные каждому хозяйству автоматические программируемые системы освещения помещений.

Автоматизированное освещение производственными процессами помещений исключает ручной труд и связанные с ним ошибки в управлении,

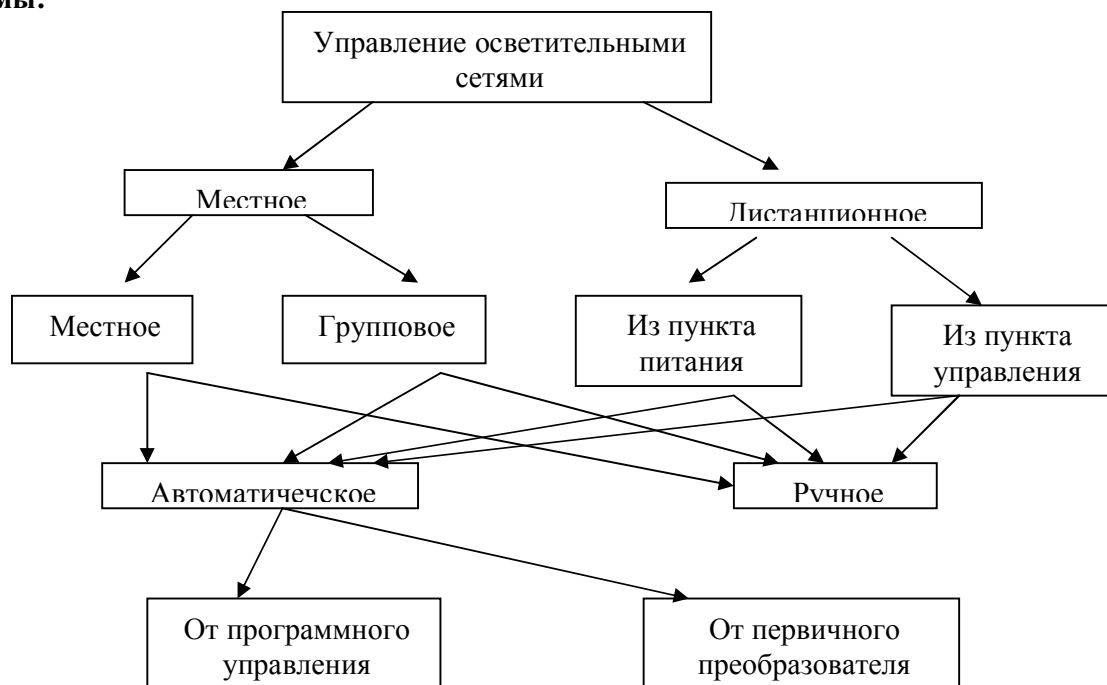
сокращает эксплуатационные затраты на обслуживание цеховых программ. В настоящее время для управления процессами освещения на птицефабриках промышленностью выпускаются установки централизованного управления типа «Свет». Передача информации от цеховых исполнительных устройств на центральный диспетчерский пункт (ЦДП) и обратно команд может осуществляться по обычной системе, когда один канал связи используется для выполнения только одной функции или по телемеханической системе, когда один канал связи используют для выполнения нескольких функций, например включение и выключение контакторов, сигнализации положения контакторов и т.д.

Принципиально устройство централизованного управления включает: а) пункт управления (ПУ), где размещаются пульт или щит управления и необходимые приборы и оборудование; б) исполнительные пункты (ИП); в) каналы связи.

Управление осветительными установками может осуществляться по месту (местное) или централизованно (дистанционное).

При *местной* системе управления включение и отключение производится коммутационными аппаратами, установленными по месту. При *централизованной* дистанционной системе управления все управление сосредотачивается в одном или нескольких местах (например, на центральном диспетчерском пункте (ЦДП)). Местное управление подразделяется на *индивидуальное* и *групповое*. А в зависимости от способа управления при помощи местных коммутационных аппаратов управление может быть *автоматическое* или *ручное*.

Дистанционная система управления делится на управление из пункта питания или из пункта управления, которые также могут быть автоматическими или ручными. Все вышеперечисленное может быть представлено в виде следующей схемы:



При разработке схемы управления следует учитывать условия эксплуатации, в частности режим работы отдельных частей осветительной установки и взаиморасположение пунктов питания.

Надежность работы устройств управления зависит не только от технического совершенства его, но и от организации и качества эксплуатационного ухода за ним. Эксплуатация устройств централизованного дистанционного управления возлагается на отдельную бригаду, подчиненную отделу главного энергетика. Квалификация лиц оперативно-ремонтного персонала, обслуживающего установки напряжением более 1000В, должны быть не ниже IV группы, а до 1000В – не ниже III группы.

Объем работ по эксплуатации делится на 3 группы:

- а) *обеспечение* выполнения графика включения и отключения сетей;
- б) *текущее* техническое наблюдение за работой и состоянием аппаратуры и ведение планово-предупредительного ремонта;
- в) *ведение* отчетно-технической документации.

Работы первой группы выполняются оперативным персоналом ЦДП.

Текущий эксплуатационный уход предопределяет надежность работы установки. Не менее 4 раз в год производят очистку от пыли (пылесосом). Не менее 2 раз в год делают проверку работы отдельных элементов и узлов аппаратуры телеуправления при этом производят:

- а) внешний осмотр;
- б) чистку и регулировку контактных групп реле;
- в) осмотр состояния исполнительных пунктов (ИП);
- г) чистку контактов и регулировку ИП;
- д) комплексную регулировку ПУ и ИП в работе;
- е) испытание изоляции (1 МОм для электрических связанных цепей управления и 0,5 МОм для вторичных цепей с напряжением ≤ 60 В).

4.2. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

4.2.1. Пути экономии электрической энергии в осветительных установках

При поиске путей экономии электроэнергии и затрат в осветительных установках применяют следующий комплекс мероприятий:

- анализ технологических требований к уровню освещенности с учетом восприятия приемником излучения в зависимости от его вида и других факторов;
- обеспечение необходимого уровня освещенности для данной задачи в проектных решениях;
- выбор наиболее экономичных источников оптического излучения;
- выбор эффективных световых приборов, обладающих необходимыми характеристиками распределения потока излучения и нужным конструктивным исполнением;
- увеличение коэффициентов отражения поверхностей помещения для повышения коэффициента использования установки;
- обеспечение гибкости управления, позволяющего изменять освещенность в случае необходимости;
- совместное использование систем естественного и искусственного освещения;
- организацию соответствующих режимов обслуживания, включающую периодическую чистку светильников и поверхностей помещения, а также замену источников излучения.

Технологические требования к уровню освещенности устанавливаются директивно соответствующими документами (ПУЭ, СНБ 2.04.05-98, ПТЭ и ПТБ), а также рекомендациями различных отраслевых норм. Остальные мероприятия комплекса можно в целом обеспечить путем:

- 1) оптимизации светотехнической части осветительных установок;
- 2) оптимизации осветительных сетей и систем управления и регулирования освещения;
- 3) рациональной организации эксплуатации освещения.

Рассмотрим более подробно каждый из этих путей экономии электрической энергии в системах освещения.

4.2.2. Экономия электроэнергии при совершенствовании светотехнической части установок

Оптимизация светотехнической части установок заключается в обосновании выбора средств и способов освещения. Выбор способов освещения заключается в обосновании системы освещения и экономичной схемы размещения светильников.

Известно, что СНБ 2.04.05 – 98 допускают установить для работ рядов I – IV, а также V_a ; V_o как систему комбинированного, так и систему

общего освещения. Выбор наиболее подходящей и оправданной в каждом конкретном случае системы освещения может быть произведен на основании технико-экономической эффективности сравниваемых вариантов.

Проведенный технико-экономический анализ показал, что систему комбинированного освещения целесообразно применять в зависимости от площади, приходящейся на одного работника, при этом экономия электрической энергии может достигать 15 – 60 % по сравнению с применением системы общего освещения (см. табл.4.1.2).

4.1.2. Рекомендованные области применения систем освещения и возможная экономия электроэнергии

Разряд зрительной работы	Системы освещения		Экономия электроэнергии при использовании системы комбинированного освещения, %
	комбинированного	общего	
I, IIа, б	Рекомендуется	Не рекомендуется	-
IIв,г	Рекомендуется при $S > 3 \text{ м}^2$	Рекомендуется при $S \leq 3 \text{ м}^2$	до 60
III	Рекомендуется при $S > 5 \text{ м}^2$	Рекомендуется при $S \leq 5 \text{ м}^2$	до 25
IVа,б	Рекомендуется при $S > 10 \text{ м}^2$	Рекомендуется при $S \leq 10 \text{ м}^2$	15...20
IVв,г	Не рекомендуется	Рекомендуется	-

Особое внимание следует уделять выбору схем размещения светильников. Энергетическую эффективность осветительных установок можно повысить при неравномерном размещении светильников, что особенно важно в тех случаях, когда при их равномерном размещении дискретные с большим разрывом мощности ламп (в особенности ламп высокого давления) приводят к резкому увеличению коэффициента неравномерности освещения, т.е. к необходимости увеличения числа светильников, что ведет к повышенному расходу электроэнергии.

Важнейшим направлением выбора средств освещения, позволяющих получить экономию электрической энергии, является применение эффективных источников излучения. При этом необходимо, по возможности, сокращать использование ламп накаливания в первую очередь в осветительных установках производственного назначения, общественных зданий и наружного освещения, расширять использование газоразрядных ламп и преимущественно тех, которые имеют наибольшую световую отдачу. Установлено, что расход электроэнергии от замены ламп накаливания газоразрядными лампами сокращается, при лампах ДРЛ на 40 %, люминесцентных лампах на 55 %, при лампах ДСЛ на 60 %, при лампах ДСЛ на 60 %, при лампах ДСЛ на 60 %.

металлогалогенных лампах высокого давления на 65 % и натриевых лампах высокого давления на 70 %.

При использовании люминесцентных ламп и отсутствии повышенных требований к цветопередаче или цветоразличению следует применять:

- люминесцентные лампы типа ЛБ, имеющие наибольшую световую отдачу;

- рефлекторные люминесцентные лампы типа ЛБР в светильниках без отражателей для тяжелых условий среды (пыль). При этом экономия электроэнергии до 20 % по сравнению с лампами ЛБ;

- амальгамные лампы типа ЛБА при повышенной температуре в зоне работы ламп (экономия электроэнергии до 25 % по сравнению с лампами ЛБ).

Определенной экономии электрической энергии можно достичь также оптимальным выбором типа и конструкции светильников. При этом световые приборы выбирают по светораспределению и по конструктивному исполнению. Светораспределение светильника сильно влияет на энергетическую эффективность осветительной установки. Так анализ показывает, что использование светильников концентрированного светораспределения K вместо широкоизлучателей G дает возможность получить экономию электроэнергии около 15 %, а вместо кривой типа D (косинусной) – в среднем около 40 %. Однако при этом следует учитывать два фактора: высоту помещения и уровень нормируемой освещенности. При уменьшении высоты подвеса выгодным уже оказывается светильник с кривой G , а не K , дальнейшее снижение высоты помещения приведет к тому, что энергетически выгодны светильники с кривой типа D .

Правильный выбор светильников по конструктивному исполнению, особенно для тяжелых условий среды позволяет уменьшить расход электроэнергии на 6...20 % путем использования светильников с более высокой эксплуатационной группой. Применение же комплексных осветительных устройств КОУ со целевыми световодами для освещения помещений с тяжелыми условиями среды (пыльных, взрывоопасных и др.) может дать экономию электроэнергии 10...15 % по сравнению с освещением осветительными приборами для тяжелых условий среды.

Большой резерв экономии электроэнергии заложен в оптимизации управления и регулирования систем освещения. Рассмотрим эти пути экономии электроэнергии более подробно.

4.2.3. Экономия электроэнергии при совершенствовании электрических сетей, систем управления и регулирования освещения

Совершенствование систем питания и распределения электрической энергии в осветительных установках является важным вопросом в деле экономии электроэнергии. Сюда можно отнести рациональный выбор размещения пунктов питания и трасс прокладки сетей, а также вопросы применения напряжения 660/380 В для питания установок повышенной

мощности. Так, например, для крупных электропотребителей целесообразно принимать магистральные схемы питания с использованием шинно-проводов. Использование повышенного напряжения 660/380 В для питания осветительных установок в крупных производственных зданиях и сооружениях позволяет получить экономию электроэнергии от 3 до 13 %..

Значительная экономия электроэнергии, расходуемой на освещение, может быть получена за счет максимального использования естественного освещения в сочетании с автоматическим управлением искусственным освещением.

Для регулирования освещения в производственных помещениях могут использоваться устройства дискретного и непрерывного регулирования. Регулирование условий освещенности можно производить двумя способами: отключением части светильников или изменением напряжения. Первый способ требует усложнения сетей, применения программных управляющих устройств с выделением очередности отключения и включения отдельных групп источников света. Однако частое включение и отключение имеет и отрицательную сторону, особенно для газоразрядных ламп, т.к. для них каждое включение и отключение сокращает срок службы на 2 часа. Другой способ регулирования позволяет более плавно изменить световой поток, однако получать экономию электроэнергии в этом случае более сложно, так как сам процесс снижения напряжения требует использования комплексных схем питания. Выбор того или иного способа регулирования производят на основе сопоставления приведенных затрат для каждого случая. О целесообразности регулирования освещения говорят следующие цифры: при отключении рядов светильников, параллельных окнам можно получить снижение расхода электроэнергии на 5...10 %, а в помещениях с совмещенным освещением включение и отключение отдельных групп светильников в зависимости от уровня освещенности, создаваемой естественным светом в различных зонах, дает экономию электроэнергии до 10...20 %.

Разработаны и выпускаются устройства автоматического управления освещением: программное реле времени 2РВМ, фотоавтомат типа АО, позволяющий управлять освещением в зависимости от уровня освещенности, полупроводниковый регулируемый двух программный выключатель освещения ПРО-68-11, предназначенный для двух программ управления искусственным освещением в зависимости от уровня освещенности и по времени.

Отрицательно сказывается на работе источников также и превышение напряжения (сокращение срока службы и, что для нас важно, увеличивается потребляемая мощность). Так при превышении напряжения на 10 % от номинального, потребляемая мощность возрастает: у ламп накаливания – на 16,4 % , у люминесцентных ламп – на 20 % , у ламп высокого давления – на 15...34 % . Поэтому в осветительных установках целесообразно использовать выпускаемые промышленностью тиристорные ограничители напряже-

ния в частности, ТОН-3. Экономия электроэнергии при этом может достигать 15 % общего расхода.

Повышение эффективности использования осветительных установок может быть достигнуто при условии организации правильной их эксплуатации. Нельзя достигать мнимой «экономии» электроэнергии за счет отключения части осветительных приборов или отказа от использования искусственного освещения при недостаточной освещенности, в том числе от естественного света. Как мы уже рассмотрели в начале лекции, потери от ухудшения условий освещения значительно превосходят стоимость «сэкономленной» таким образом электрической энергии.

Правильная эксплуатация осветительных установок предполагает чистку остекления окон и световых фонарей в производственных и общественных зданиях не реже двух раз в год, что позволит в среднем экономить до 5...10 % электроэнергии. Для повышения коэффициента использования светового потока целесообразно окрашивать помещения производственных и общественных зданий в светлые тона, а также производить своевременную очистку ограждающих поверхностей от пыли и грязи. Выполнение только этих мероприятий позволит экономить 10...18 % электроэнергии.

Таким образом, мы видим, что такой далеко не полный перечень мероприятий, обеспечивающих экономию электроэнергии в осветительных установках, при определении пригодности тех или иных решений в каждом конкретном случае предполагает эксплуатационно-техническую оценку, важнейшим элементом которой является технико-экономическая оценка.

4.2.4. Техничко-экономическая оценка эффективности осветительных установок

Техничко-экономическую оценку эффективности использования осветительных установок целесообразно производить для многовариантной задачи, которой собственно и является проектирование этих установок. Решение о целесообразности использования того или иного варианта осветительной установки принимаются путем сопоставления таких показателей, как:

- интегральный эффект за расчетный период (абсолютный показатель);
- коэффициент роста капитала (относительный показатель);
- срок возврата капиталовложений (относительный показатель).

Интегральный эффект представляет собой разность сегодняшней дисконтированной (приведенной к сегодняшнему дню) стоимости будущих доходов и капиталовложений за расчетный период

$$\mathcal{E}_u = D_n - K_n, \quad (4.2.1)$$

где K_n – суммарные капиталовложения за расчетный период, приведенные к началу периода, руб. (если расчетный период не превышает срока службы капиталовложений, то $K_n = K$, K – первоначальные капиталовложения.

В условиях инфляции

$$K = \alpha_u K_{об}, \quad (4.2.2)$$

где α_{ii} - инфляционный коэффициент, учитывающий рост цен в условиях инфляции; $K_{об}$ – балансовая стоимость технических средств в ценах i -го года; D_n - сегодняшняя стоимость будущих доходов.

Сегодняшняя стоимость будущих доходов

$$D_n = D_z \alpha_m, \quad (4.2.3)$$

где D_z – постоянный инвестиционный доход, руб; α_m – коэффициент приведения к началу периода по времени

$$\alpha_m = \frac{(1+E)^T - 1}{E(1+E)^T}, \quad (4.2.4.)$$

где E – процентная ставка базовая; T – расчетный период.

Постоянный инвестиционный доход

$$D_z = \Pi + A - H, \quad (4.2.5)$$

где Π – прибыль от реализации продукта; A – амортизация основных средств; H – сумма налогообложения.

Прибыль за счет производственных издержек

$$\Delta \Pi = C_{1n} - C_{2n}, \quad (4.2.6)$$

где C_{1n}, C_{2n} - дисконтированные эксплуатационные издержки, определяемые также с учетом инфляционных коэффициентов.

$$C_n = C_z \alpha_m \quad (4.2.7)$$

Коэффициент роста капитала показывает относительное увеличение капитала за расчетный период в сравнении с увеличением на уровне процентной ставки:

$$K_{p.k.} = \frac{D_n}{K_n}. \quad (4.2.8)$$

Капиталовложения целесообразны, если $K_{p.k.} \geq 1$.

Срок возврата капитала определяет время $T_с$, за которое возвращается вложенный капитал и обеспечивается нормативный доход на уровне базовой процентной ставки

$$T_с = \frac{\lg(1 + \frac{E}{P_с})}{\lg(1 + E)}, \quad (4.2.8)$$

где $P_с$ – коэффициент возврата капиталовложений

$$P_с = \frac{D_z}{K} - E; \quad (4.2.10)$$

E – базовая процентная ставка.

Капитальные вложения $K_{об}$ принимают по смете к проекту или определяют по формуле:

$$K_{об} = N_{\Sigma}(K_{л} n_{л} + K_{об} + K_{мсв} + \gamma + 10^{-3} \alpha P_{л} K_{мс} n_{л}), \quad (4.2.11)$$

где N_{Σ} - общее число световых приборов, шт.; $K_{л}$ – цена одного источника (лампы), руб.; $N_{л}$ – число источников в световом приборе, шт.; $K_{об}$ – цена одного светового прибора, руб.; $K_{мсв}$ – стоимость монтажа одного светового прибора, руб.; γ - составляющая стоимости статических конденсаторов, применяемых для повышения коэффициента мощности (для ламп ДРЛ - $\gamma = 2,6$;

ДРИ - $\gamma = 4,0$); α - коэффициент, учитывающий потери в ПРА газоразрядных ламп ($\alpha = 1,2$ для л.л., $\alpha = 1,1$ для ламп ДРЛ, ДРИ, ДРТ); $P_{\text{л}}$ – мощность одной лампы, Вт; $K_{\text{мс}}$ – стоимость монтажа электрической части установки на 1 кВт установленной мощности с учетом потерь в ПРА.

Годовые эксплуатационные издержки можно определить по формуле:

$$C_z = C_a + C_o + C_3, \quad (4.2.12)$$

где C_a – годовые затраты на амортизацию и текущий ремонт, руб./год; C_o – годовые затраты на обслуживание системы освещения, руб./год; C_3 – стоимость израсходованной за год электрической энергии с учетом потерь в ПРА и сетях, руб./год.

Отдельные составляющие эксплуатационных затрат рассчитывают по формулам:

$$C_a = 0,13 N_{\Sigma} (K_{\text{об}} + K_{\text{мсв}} + \gamma + 10^{-3} \alpha P_{\text{л}} K_{\text{мс}} n_{\text{л}}); \quad (4.2.13)$$

$$C_o = N_{\Sigma} [n_{\text{ч}} C_{\text{ч}} + \frac{n_{\text{л}} T_{\text{р}} (K_{\text{л}} + C_3)}{T_{\text{л}}}] ; \quad (4.2.14)$$

$$C_3 = 10^{-3} \alpha P_{\text{л}} n_{\text{л}} N (1 + \beta) T_{\text{р}} \cdot C_{\text{э}}, \quad (4.2.15)$$

где 0,13 – коэффициент, учитывающий отчисления на амортизацию и текущий ремонт установки; $n_{\text{ч}}$ – число чисток световых приборов в год, шт.; $C_{\text{ч}}$ – стоимость одной чистки, руб.; $T_{\text{р}}$ – продолжительность работы установки в год, час.; C_3 – стоимость замены одного источника, руб.; $T_{\text{л}}$ – номинальный срок службы источника, час.; β - коэффициент, учитывающий потери электрической энергии в сетях ($\beta = 0,03$ для л.н.; $\beta = 0,037$ для л.л.; $\beta = 0,12$ для ламп ДРЛ и ДРИ без компенсации реактивной мощности); $C_{\text{э}}$ – стоимость электрической энергии, руб/кВт·ч.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козинский В.А. Электрическое освещение и облучение. - М.: Агропромиздат, 1991.
2. Жилинский Ю.М., Кумин В.Д. Электрическое освещение и облучение. -М. : Колос,1982.
3. Николаенок М.М., Заяц Е.М. Расчеты осветительных и облучательных установок сельскохозяйственного назначения. - Мн.: Лазурак, 2000.
4. Справочная книга по светотехнике/Под ред. Ю. Б. Айзенберга. - М.: Энергоатомиздат,1983.
5. Степанцов В.П. Светотехническое оборудование в сельскохозяйственном производстве: Справочное пособие. - Мн. : Ураджай,1987.
6. Степанцов В.П. и др. Электрооборудование осветительных и облучательных установок. - Мн.: Ураджай,1991.
7. Справочная книга для проектирования электрического освещения/Под ред. Г.М. Кнорринга. - Л.:Энергия,1976.
8. Епанешников М.М. Электрическое освещение. - М. : Энергия,1973.
9. Мешков В.В. Основы светотехники, ч.1.-М.: Энергия,1974.
10. Мешков В.В. Основы светотехники, ч.2. М.:Госэнергоиздат,1981.
11. Кнорринг Г.М. Светотехнический расчет в установках искусственного освещения. Л.:Энергия,1973.
12. Райцельский Л.А. Справочник по осветительным сетям.- М.: Энергия,1977.
13. Кунгс Я. А., Файермарк М.А. Экономия электрической энергии в осветительных установках. - М. :Энергоатомиздат,1984.
14. Баев В.И. Практикум по электрическому освещению и облучению.- М.: Агропромиздат, 1991.

СОДЕРЖАНИЕ

Тема 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	3
1.1. Оптическое излучение, получение, природа, свойства.....	3
1.2. Основные определения светотехники.....	9
1.3. Световое действие ОИ	20
1.4. Световые измерения	31
Тема 2. ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	39
2.1. Тепловые источники оптического излучения	39
2.2. Основные положения теории электрического разряда в газах и парах металлов	49
2.3. Газоразрядные лампы низкого давления	57
2.4. Газоразрядные лампы высокого давления	68
Тема 3. ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ	75
3.1. Принципы нормирования осветительных установок.....	75
3.2. Осветительные приборы	83
3.3. Проектирование и расчет светотехнической части осветительных установок внутреннего освещения	92
3.4. Проектирование и расчет светотехнической части установок наружного освещения	107
3.5. Проектирование электрической части осветительных установок	118
3.6. Расчёт электрических сетей осветительных установок	123
Тема 4. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ОБСЛУЖИВАНИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК	129
4.1. Монтаж и эксплуатация осветительных установок	129
4.2. Энергосбережение в осветительных установках	135
Литература	142