

ВЛАДИМИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Г.П. Колесник

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Учебное пособие

Владимир 2002

Министерство образования Российской Федерации
Владимирский государственный университет

Г.П. КОЛЕСНИК

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Учебное пособие

Владимир 2002

УДК.628.921.95
К60

Рецензенты:

Доктор физико-математических наук, профессор зав. кафедрой
«Теоретическая физика» Владимирского государственного
педагогического университета
В.Г. Рау

Главный энергетик комбината «Тепличный» г. Владимира,
С.В. Бурдыкин

Кандидат физико-математических наук доцент кафедры
«Общая физика» Владимирского государственного университета
О.Д. Бухарова

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета

Колесник Г.П.

К60 Электрическое освещение: Учеб. пособие / Владим. гос. ун-т. Влади-
мир, 2002. 100 с.
ISBN 5-89368-341-2

Излагаются теоретические основы и даны практические указания по устройству, проектированию и эксплуатации осветительных установок. Рассматриваются выбор нормируемых характеристик, типы источников света, виды и системы освещения, схемы питания и управления, а также вопросы расчета освещения и осветительных сетей.

Предназначено для студентов специальности 100400 – электроснабжение всех форм обучения. Может служить руководством при выполнении курсовых проектов студентами по вопросам электрического освещения строительных специальностей.

Табл. 7. Ил. 47. Библиогр.: 8 назв.

УДК 628.921.95

ISBN 5-89368-341-2

© Владимирский государственный
университет, 2002

Введение

Проектирование и Эксплуатация установок искусственного внутреннего и наружного освещения – один из важнейших аспектов деятельности инженера-электрика. Установки искусственного освещения являются самыми массовыми инженерными устройствами и потребляют около 20 % всей вырабатываемой электроэнергии. Поэтому профессиональный подход к их осуществлению и эксплуатации прямо связан с энергосбережением и уменьшением трудозатрат.

Соблюдение научно обоснованных светотехнических норм способствует исключению каких-либо объективных помех при решении той или иной зрительной задачи и комфортному восприятию визуальной информации без напряжения и утомления глаз. Если указанные нормативы не выполняются, то значительная часть жизненных сил человека расходуется на преодоление последствий “плохого освещения”.

Качественное, “хорошее освещение”, удовлетворяющее светотехническим нормам, позволяет человеку легко, быстро и безопасно ориентироваться, перемещаться в окружающей среде и выполнять ту или иную работу.

Предлагаемое учебное пособие, примерно совпадая с рабочей программой дисциплины “Электрическое освещение”, читаемой студентам специальности 100400 – электроснабжение может служить им практическим пособием при решении различных задач освещения.

1. ОСНОВЫ СВЕТОТЕХНИКИ

1.1. Энергия излучения и энергетический поток

Излучение – это материя особой формы, имеющая массу покоя, равную нулю, и движущаяся в безвоздушном пространстве с постоянной скоростью, равной примерно $2,998 \cdot 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

Длительное время не могли правильно объяснить природу возникновения излучения и механизма его распространения в окружающем пространстве. Первым о волновой теории излучения сделал сообщение Х. Гюйгенс в 1678 году, при этом рассматривалось распространение волн упругой деформации гипотетической эфирной материи. Идею корпускулярной природы излучения выдвинул И. Ньютон, опираясь на закон прямолинейного распространения световых излучений, объясняя это явление как движение особых материальных частиц – корпускул. Открытие явлений интерференции и дифракции позволили О. Френелю усовершенствовать волновую теорию света Х. Гюйгенса.

В 1864 году Д.К. Максвелл в трактате «Динамическая теория электромагнитного поля» высказал гипотезу об электромагнитной природе световых волн, согласно которой *излучение распространяется в пространстве в виде электромагнитной волны, представляющей собой периодическое колебание напряженностей электрического и магнитного полей.*

Уравнение электромагнитной волны
$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = \frac{1}{\mu \mu_0 \varepsilon \varepsilon_0} \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2}, \text{ или}$$
$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = \frac{c^2}{\mu \varepsilon} \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2},$$

где μ (мю) и ε (ипсилон) – магнитная и диэлектрическая проницаемость среды; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн} / \text{м} = \frac{\text{Ом} \cdot \text{с}}{\text{м}}$ и $\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \frac{\text{См} \cdot \text{с}}{\text{м}}$ – магнитная и электрическая постоянные, $\frac{1}{\varepsilon_0 \mu_0} = 9 \cdot 10^{16} \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}$;

ξ (кси) – мгновенное значение напряженности электрического поля;

t (тэ) – время распространения волны;

x (икс) – расстояние исследуемой точки поля от наибольшего излучения;

c (цэ) = $2,997\ 924\ 58 \cdot 10^8$ м/с – скорость распространения электромагнитных волн в безвоздушном пространстве;

$\frac{c^2}{\mu\epsilon} = V^2$ – квадрат фазовой скорости распространения электромагнитных

волн в любой среде.

Для гармонической волны монохроматического излучения

$$\xi = \xi_{\max} \sin \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{V} \right), \quad \xi_{\max}, T, V - \text{const},$$

где ξ_{\max} – амплитуда напряженности электрического поля;

T – время полного периода колебаний;

$\frac{x}{V}$ – фаза запаздывания колебания в точке x по отношению к колебанию в

точке расположения источника.

$$\text{Длина волны } \lambda = VT; \quad v = \frac{1}{T} \rightarrow \lambda v = V.$$

Однако классическая электромагнитная теория света не могла достоверно объяснить закон распределения энергии по спектру излучения черного тела. И только в 1905 году А. Эйнштейн, опираясь на теоретические работы М. Планка, сформулировал фотонную теорию излучения, согласно которой излучение рассматривается как поток частиц излучения, названных фотонами, с энергией $h\nu$, импульсом (количеством движения) и массой.

Вектор импульса фотона $\vec{g} = h\vec{\sigma}$, где $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка; $\vec{\sigma}$ – волновой вектор: $\vec{\sigma} = \vec{l}_0 \frac{\nu}{c}$, где \vec{l}_0 – единичный вектор направления распространения излучения, $c \cong 2,998 \cdot 10^8$ м·с⁻¹, ν – частота излучения. Импульс фотона с частотой ν равен: $\frac{h\nu}{c} = m_\phi c$, откуда масса фотона

$$m_\phi = \frac{h\nu}{c^2}.$$

С учетом этих свойств фотона следует различать понятия фотона и кванта энергии излучения. Это различие определяет механизм процесса возникновения излучения, заключающийся не только в преобразовании энергии, сообщенной излучающей микрочастице в самостоятельно существующий квант излучения, но и в переходе материи из формы вещества в

форму электромагнитного поля (излучения). При поглощении излучения веществом происходит обратное превращение, которое возможно лишь в такой микросистеме (молекуле, атоме), в которой разность энергии двух из возможных энергетических состояний равна энергии фотона поглощаемого излучения. При этом должны соблюдаться законы сохранения энергии и импульса взаимодействующей системы:

$$h\nu + Q_e = h\nu^1 + Q_e^1; \quad h\vec{\sigma} + \vec{q} = h\vec{\sigma}^1 + \vec{q}^1;$$

где Q_e и \vec{q} – энергия и импульс частицы до взаимодействия;

Q_e^1 и \vec{q}^1 – то же после взаимодействия;

$h\nu$ и $h\vec{\sigma}$ – энергия и импульс фотона до взаимодействия; $h\nu^1$ и $h\vec{\sigma}^1$ – то же после взаимодействия. Непрерывный спектр электромагнитных излучений: от $1 \cdot 10^{-7}$ мкм (при распаде радиоактивных элементов) до 6 000 км (генераторы промышленной частоты).

Диапазон оптической области спектра излучения:

- от 1,0 мм до 0,78 мкм – инфракрасное излучение;
- от 0,78 мкм до 0,38 мкм – видимое излучение;
- от 0,38 мкм до 0,01 мкм – ультрафиолетовое излучение.

Поле оптического излучения связано с переносом энергии, представляющей меру движения особой формы – *излучения*.

Энергия излучения, являясь его количественной мерой, измеряется в джоулях (Дж).

Поглощенная телом энергия излучения чаще всего превращается в энергию теплового движения молекул, которая также измеряется в джоулях.

Единицей энергии возбуждения элементарных излучателей (атома, молекулы) принято считать электрон-вольт (эВ),

$$1\text{эВ} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

В качестве энергетической характеристики удобно считать не энергию, а мощность ее переноса, т. е. энергию излучения, переносимую потоком фотонов в единицу времени. Мощность переноса энергии излучения принято называть *потоком излучения* (лучистым потоком).

Мгновенное значение потока излучения:

$$\Phi_e = \frac{dQ_e}{dt}, \text{ Вт,}$$

где Φ_e – среднестатистическая характеристика микропроцессов, составляющих излучение.

Для микроскопического процесса

$$\Phi_e = \frac{\nu \epsilon \epsilon_0}{2} \xi_{\max}^2,$$

где ξ_{\max}^2 – амплитуда непрерывности электрического поля.

Для полной качественной и количественной характеристики потока необходимо знать распределение потока излучения:

- 1) во времени;
- 2) в пространстве;
- 3) по спектру.

В первом случае при анализе обычно пренебрегают квантовой дискретностью излучения, считая его непрерывным.

Так, лампа накаливания мощностью 100 Вт каждую секунду излучает в пространство более $5 \cdot 10^{20}$ фотонов. Следовательно, на каждый сантиметр поверхности, перпендикулярной лучам, на расстоянии 100 м от лампы каждую секунду будет падать около $0,4 \cdot 10^{12}$ фотонов.

При включении источника излучения в сеть переменного тока поток излучения колеблется относительно среднего значения с двойной частотой переменного тока. При этом коэффициент пульсации

$$k_n = \frac{\Phi_{e \max} - \Phi_{e \min}}{2\Phi_{e \text{ ср}}} 100 \%,$$

где $\Phi_{e \text{ ср}} = \frac{1}{T} \int_0^T \Phi_e(t) dt$ – среднее значение потока излучения за полный период T (T – период промышленной частоты); $\Phi_e(t)$ – функция изменения мгновенных микроскопических значений потока во времени.

Глубина пульсации потока зависит от инерционных свойств источника излучения. Например, газоразрядный источник излучения практически безинерционен.

Приемники излучения в большинстве случаев инерционны, поэтому пульсацией потока излучения пренебрегают.

В ряде случаев пульсации потока излучения во времени вредны, так как вызывают стробоскопический эффект, пульсации плотности потока излучения во времени на рабочей поверхности, а также зрительное утомление и снижение производительности труда.

Сила излучения – это пространственная плотность потока излучения $I_e = \frac{d\Phi_e}{d\Omega}$, где Ω – телесный угол (ср – стерадиан).

Энергетическая светимость – это плотность потока излучения по поверхности излучателя $M_e = \frac{d\Phi_e}{dA_u}$, где A_u – площадь поверхности излучающего тела. Среднее значение $M_{e\text{ ср}} = \frac{\Phi_e}{A}$, Вт·м⁻². Энергетическая светимость солнца $M_e = 6,1 \cdot 10^7$ Вт/м²; нити лампы накаливания $M_e = 2 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^6$ Вт/м²; люминесцентной лампы $M_e = 300$ Вт/м².

Энергетическая яркость поверхности излучателя – это сила излучения с единицы площади проекции поверхности излучающего тела на плоскость перпендикулярно направленного излучения $L_{e\alpha\beta} = \frac{dI_{e\alpha\beta}}{\cos\alpha dA}$, или

$L_{e\alpha\beta} = \frac{d^2\Phi_{e\alpha\beta}}{\cos\alpha dA d\Omega_{\alpha\beta}} \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{ср} \cdot \text{м}^2}$. $L_{e\alpha\beta}$ – энергетическая яркость в заданном направлении α, β .

Плотность облучения – это плотность падающего потока излучения по облучаемой поверхности: $E_e = \frac{d\Phi_e}{dA_0}$, где $d\Phi_e$ – поток излучения, а

dA_0 – поверхность. Среднее значение $E_{e\text{ ср}} = \frac{\Phi_e}{A}$.

Энергетическая экспозиция – величина, определяющая энергию излучения, упавшую на единицу площади, облучает поверхности в течение всего времени действия, носит название энергетической экспозиции (количество облучения) $H_e = \int_{t1}^{t2} E_e(t) dt$, при $E_e(t) = \text{const}$, $H_e = E_e \cdot t$ Дж·м².

Энергетическая экспозиция учитывается при фотохимическом, фото-биологическом и других преобразованиях излучения.

1.2. Спектральное распределение излучения

В 1666 году И. Ньютоном разложен естественный солнечный свет на составные монохроматические излучения. Современные спектральные

приборы высокой разрешающей силы позволяют выделить очень узкие полосы спектра (шириной до 10^{-5} мкм). Однако размытость линейного спектра свидетельствует, что они состоят из совокупности нескольких излучений с частотами, очень близкими друг к другу. Это обусловлено эффектом Доплера для хаотично движущихся источников излучения (атомов и молекул).

Так как монохроматическое излучение с гармонической волной получить невозможно, то применяют термин «однородное излучение», под которым понимают излучения на узком конечном участке спектра с шириной $\Delta\lambda$, определяемой требованиями точности спектральных измерений или расчетов.

Таким образом, *однородное излучение* эквивалентно монохроматическому в пределах точности, определяемой практикой светотехнических расчетов и измерений.

Различают однородные и сложные излучения.

Сложные излучения – это совокупность некоторого числа однородных излучений. Сложные излучения могут быть с линейчатым (рис. 1), полосатым или сплошным (рис. 2) спектрами.

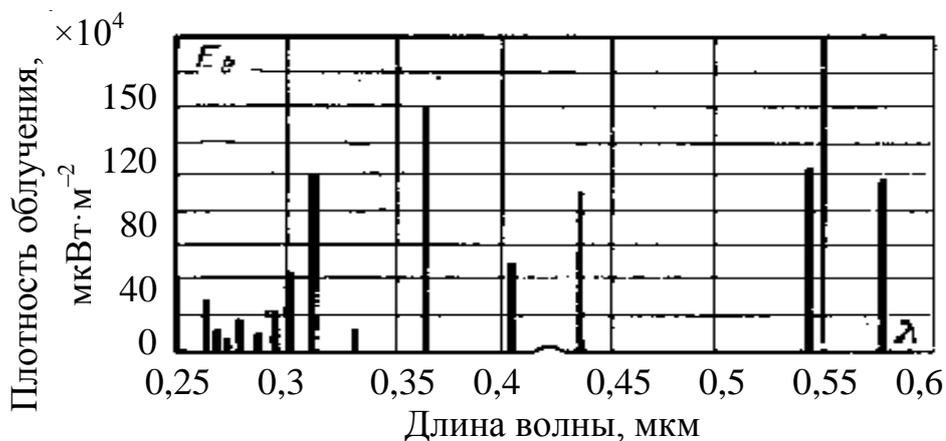


Рис. 1

Полосатые спектры характерны для вращательного и колебательного излучений молекул в инфракрасной части спектра. В этом случае получают излучения в результате слияния большего числа близко расположенных размытых спектральных линий в полосы различной ширины.

Сплошные спектры характерны для теплового излучения, а также для люминесценции жидких и твердых тел. Спектральное распределение таких излучений принято давать на графиках или в таблицах, фиксирующих

плотности излучения или потоки излучения для каждой линии или полосы в отдельности.

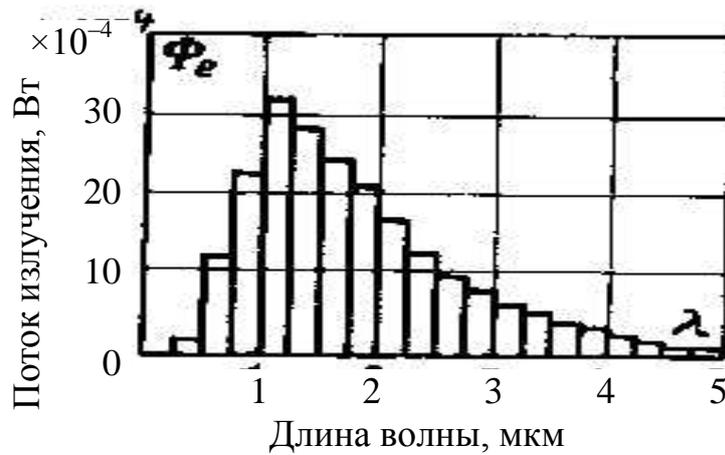


Рис. 2

При цветовых расчетах для характеристики спектрального распределения сплошного излучения более удобно принимать некоторую условную величину – *спектральную плотность потока излучения* $\varphi_{e\lambda}$:

$$\varphi_{e\lambda} = \frac{\Delta\Phi_{e\lambda}}{\Delta\lambda} \text{ Вт} \cdot \text{мкм} \cdot \text{м}^{-1}, \text{ или } \varphi_{e\lambda} = \lim_{\Delta\lambda \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi_{e\lambda}}{\Delta\lambda} = \frac{\partial\Phi_{e\lambda}}{\partial\lambda},$$

где $\Delta\Phi_{e\lambda}$ – однородный поток; $\Delta\lambda$ – ширина узкой полосы спектра, в который заключен однородный поток.

Функция спектральной плотности излучения $\varphi_e(\lambda)$ в прямоугольной системе координат представляется в следующем виде графической зависимости (рис. 3).

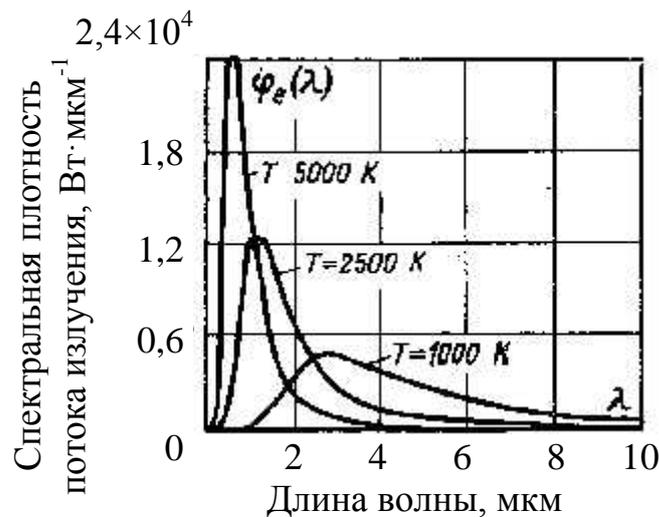


Рис. 3

Поток излучения получают при интегрировании функции $\varphi_e(\lambda)$ по всему оптическому спектру (от $\lambda_i = 0,001$ мкм до $\lambda_j = 1$ мм).

$$\Phi_e = \int_{\lambda_i}^{\lambda_j} \varphi_e(\lambda) d\lambda.$$

Оптические характеристики тел – это коэффициенты:

$$\alpha_e = \frac{\Phi_{e\alpha}}{\Phi_e} \text{ – коэффициент поглощения;}$$

$$\rho_e = \frac{\Phi_{e\rho}}{\Phi_e} \text{ – коэффициент отражения;}$$

$$\tau_e = \frac{\Phi_{e\tau}}{\Phi_e} \text{ – коэффициент пропускания,}$$

где $\Phi_{e\alpha}, \Phi_{e\rho}, \Phi_{e\tau}$ – потоки поглощения: поглощенный, отраженный и прошедший; Φ_e – поток излучения, упавший на тело. Справедливо соотношение

$$\alpha_e + \rho_e + \tau_e = 1.$$

Коэффициенты поглощения, отражения и пропускания потока излучения для исследуемого тела определяются спектральными характеристиками поглощения $\alpha(\lambda)$, отражения $\rho(\lambda)$ и пропускания $\tau(\lambda)$, которые зависят от характера обработки поверхности, угла падения пучка лучей и длины пути пучка в исследуемом теле, а также спектрального состава падающего потока излучения.

$$\alpha_\lambda = \frac{\Phi_{e\lambda\alpha}}{\Phi_{e\lambda}}; \rho_\lambda = \frac{\Phi_{e\lambda\rho}}{\Phi_{e\lambda}}; \tau_\lambda = \frac{\Phi_{e\lambda\tau}}{\Phi_{e\lambda}};$$

где $\Phi_{e\lambda\alpha}, \Phi_{e\lambda\rho}, \Phi_{e\lambda\tau}$ – поглощенный, отраженный и прошедший потоки излучения с длиной волны λ . Аналогично можно записать $\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1$.

1.3. Приемники оптического излучения

Анализ энергетики процессов поглощения и преобразования излучения веществом позволяет решить все технические вопросы проектирования и эксплуатации энергетических облучательных установок, под которыми понимаются установки, в которых энергия излучения преобразуется в электрическую, биологическую, тепловую, химическую и другие формы движения материи.

Например, фотоэлектрическое действие энергии излучения рассматривается на основе анализа преобразования поглощенных фотонов в энергию движения электронов; фотохимическое действие – на основе анализа преобразования энергии излучения в энергию химической реакции, возникающей в результате поглощения фотонов молекулами вещества, и так далее.

Естественно, все процессы преобразования форм движения материи подчиняются закону сохранения и превращения энергии (М.В. Ломоносов 1748 г.). Согласно этому закону энергия излучения, упавшая на какое-либо тело и частично поглощенная им, превращается в энергию иной формы

$$\text{движения материи: } Q_{e\alpha} = \alpha_e \int_{t_0}^t \Phi_e(t) dt = Q_{\text{эф}} + \Delta Q_e ,$$

где $Q_{e\alpha}$ – энергия излучения, поглощенная телом за время от t_0 до t ;

α_e – коэффициент поглощения излучения веществом;

$\Phi_e(t)$ – мгновенное значение потока излучения, упавшего на облучаемое тело;

$Q_{\text{эф}}$ – эффективная энергия (тепловая, электрическая, химическая, биологическая и др.);

ΔQ_e – энергия потерь, численно равная энергии тех форм движения материи, которые побочно возникают в исследуемом процессе преобразования.

Энергия потерь ΔQ_e в большинстве случаев возникает в результате теплового рассеяния части поглощенной телом энергии.

Тела, в которых происходит преобразование излучения, принято называть приемниками энергии излучения.

В светотехнике наиболее распространенными приемниками излучения являются: глаз, фотоэмульсия, фотоэлементы, люминофоры, листья растений и прочее, т.е. приемниками излучения могут быть тела «живой» и «неживой» природы; к первой группе относятся биологические приемники, ко второй – физические и химические.

Приемники являются конечными звеньями любой светотехнической установки.

Основными энергетическими характеристиками любого приемника являются его *интегральная* и *спектральная* чувствительности. Чувствительность любого приемника энергии излучения определяется отношением эффективной энергии излучения к энергии излучения, упавшего на приемник:

$$K = c \frac{Q_{\text{эф}}}{Q_e} = c \frac{Q_{\text{эф}}}{\int_{t_0}^t \Phi_e(t) dt}; \text{ или } K = c \alpha_e \frac{Q_{\text{эф}}}{Q_{e\alpha}} = c \alpha_e \eta_{\text{э}},$$

где K – интегральная чувствительность приемника;

α_e – коэффициент поглощения излучения;

$Q_{e\alpha}$ – энергия излучения, поглощенная приемником;

$\eta_{\text{э}} = \frac{Q_{\text{эф}}}{Q_{e\alpha}}$ – энергетический выход процесса преобразования энергии излу-

чения;

c – коэффициент, определяемый выбором единицы эффективной энергии преобразования $Q_{\text{эф}}$.

Однако на практике удобно пользоваться отношением эффективной мощности $P_{\text{эф}}$ к потоку излучения, упавшему на приемник:

$$K = c \frac{P_{\text{эф}} t}{\Phi_e t} = c \frac{P_{\text{эф}}}{\Phi_e}.$$

Большинство приемников избирательны к поглощению энергии излучения. Кроме того, чувствительность приемников к монохроматическим излучениям различных длин волны неодинакова. Поэтому для оценки чувствительности к монохроматическому (однородному) излучению вводят понятие *спектральной чувствительности* в отличие от интегральной чувствительности, определяемой для сложного излучения, падающего на приемник:

$$K(\lambda) = c \frac{dP_{\text{эф}}(\lambda)}{d\Phi_e(\lambda)}.$$

Эффективный поток излучения и системы эффективных величин измерения

Для упрощения светотехнических расчетов, а также для обеспечения количественной оценки процесса преобразования энергии излучения условимся рассматривать эффективную мощность (приняв $c = 1$) как эффективный поток излучения. Следовательно, *эффективный поток эквивалентен мощности излучения, оцененной по уровню реакции приемника:*

а) для монохроматического излучения $d\Phi_{\text{эф}}(\lambda) = \varphi_e(\lambda) \kappa(\lambda) d\lambda$;

б) для сложного излучения $\Phi_{\text{эф}} = \kappa \Phi_e$,

где $d\Phi_{\text{эф}}(\lambda)$ и $\Phi_{\text{эф}}$ – монохроматический и сложный эффективные потоки.

Из изложенного следует важный для светотехнической практики вывод: *равным эффективным потокам соответствует равная мера реакции приемника.*

$$\text{Определяя } K(\lambda) = \frac{d\Phi_{\text{эф}}(\lambda)}{\varphi_e(\lambda)d\lambda} \text{ и } K = \frac{\int_{\lambda_i}^{\lambda_j} \varphi_e(\lambda)k(\lambda)d\lambda}{\int_{\lambda_i}^{\lambda_j} \varphi_e(\lambda)d\lambda}, \text{ введем понятие}$$

относительной спектральной чувствительности $v(\lambda) = \frac{k(\lambda)}{(k_\lambda)_{\text{max}}}$, или

$v(\lambda) = \frac{d\Phi_{e\lambda_{\text{max}}}}{d\Phi_{e\lambda}}$, где $d\Phi_{e\lambda_{\text{max}}}$ – поток монохроматического излучения, к ко-

торому приемники имеют максимальную чувствительность; $\Phi_{e\lambda}$ – поток монохроматического излучения с заданной длиной волны λ , тогда

$$\Phi_{\text{эф}} = (k_\lambda)_{\text{max}} \int_{\lambda_i}^{\lambda_j} \varphi_e(\lambda)v(\lambda)d\lambda.$$

Эффективный поток – это величина, которая оценивается мерой реакции приемника, и при его определении должна быть спектральная чувствительность приемника. Система эффективных величин базируется на эффективном потоке.

Разработано три системы эффективных величин:

Видимое излучение – световое, у которого образцовым приемником является глаз человека.

Ультрафиолетовое излучение:

– *бактерицидное*, у которого мерой реакции на излучение принята некоторая средняя характеристика губительного действия ультрафиолетового излучения на бактерии;

– *эритемное*, мерой реакции служит покраснение кожи человека и последующая ее пигментация в результате облучения.

Из рассмотрения зависимости относительной спектральной чувствительности (рис. 4) различных приемников от длины волн излучения можно сделать вывод, что невозможно создать единую систему эффективных величин. На рис. 4 обозначена спектральная чувствительность: 1, 2 – электровакуумных фотоэлементов на основе теллура и цезия соответственно;

3 – глаза человека; 4 – селенового фотоэлемента; 5 – кремниевого фотодиода; 6 – сернисто-серебряного фотоэлемента; 7 – германиевого фотодиода.



Рис. 4

Однако для оценки эффективных значений оптических коэффициентов по аналогии с коэффициентами поглощения, отражения и пропускания вводят также коэффициенты для эффективных характеристик излучения.

Глаз как приемник излучения

Орган зрения человека является сложным приемником энергии излучения, в котором происходит трехкратное преобразование энергии. На первом этапе энергия излучения, поглощенная светочувствительным веществом глаза, преобразуется в хаотическую энергию распада молекул светочувствительного вещества. Вторым этапом является преобразование химической энергии распада молекул в электрическую энергию импульсов тока, возникающих в волокнах зрительного нерва, связывающих глаз с корой головного мозга человека. Третий этап – преобразование энергии движения электронов в энергию биологических процессов зрительного ощущения. Сущность этого этапа преобразования внешней энергии в нервный процесс восприятия настолько сложна, что она до настоящего времени не изучена полностью.

Первичным процессом зрительного ощущения является поглощение фотонов колбочками и палочками глаза с последующей фотохимической диссоциацией молекул иодопсина и родопсина. Этот процесс избирателен по спектру падающего на глаз излучения.

Родопсин чувствителен к излучениям с длинами волн 0,38 – 0,64 мкм, а иодопсин – в пределах 0,41 – 0,72 мкм. Эта особенность глаза как приемника излучения приводит к специфическому свойству – зависимости его спектральной чувствительности от уровня возбуждения (рис. 5):

$V(\lambda)$ – относительная спектральная световая эффективность излучения для дневного зрения;

$V^1(\lambda)$ – относительная спектральная световая эффективность излучения для ночного зрения.

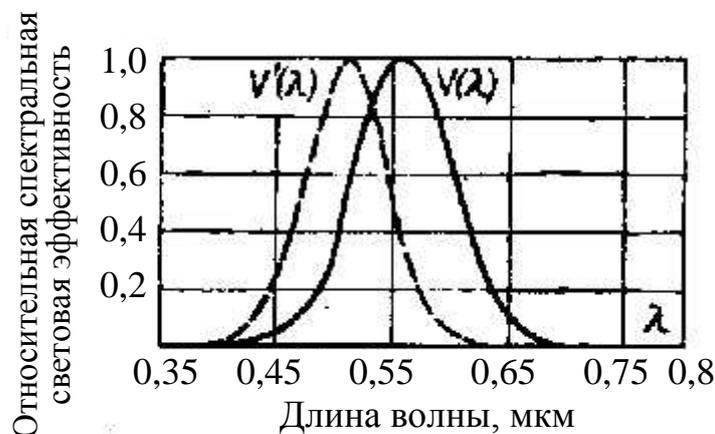


Рис. 5

В режиме сумеречного зрения обе системы светопринимающих элементов работают совместно, спектральная чувствительность глаза определяется не только длиной волны излучения, но также относительным уровнем возбуждения глаза, определенными долями участия в зрительном процессе палочек и колбочек.

По соглашению Международной осветительной комиссии (МОК) в 1924 г. основной функцией спектральной чувствительности глаза принята функция относительной световой эффективности в условиях дневного зрения. Эта функция принята в основу построения системы световых величин и единиц.

Световой поток и световая энергия

Световой поток Φ – мощность световой энергии, эффективная величина измеряется в люменах:

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} \text{ лм.}$$

Согласно МОК световой поток определяется действием на селективный приемник, спектральная чувствительность которого нормализована функциями относительной спектральной световой эффективности излучения (монохроматического): $V(\lambda)$ – для дневного зрения (в условиях яркости и адаптации $L \geq 10 \text{ кд/м}^2$) и $V^1(\lambda)$ – для ночного зрения ($L \leq 0,01 \text{ кд/м}^2$).

1 лм численно равен световому потоку, излучаемому в единичном телесном угле (стерадиан) равноинтенсивным (равномерным) точечным источником с силой света в одну канделу (кд).

Установлено, что 1 Вт потока монохроматического излучения с длиной волны $\lambda = 0,555$ мкм равен 680 лм светового потока. Следовательно, максимальное значение спектральной световой эффективности численно равно $(k_\lambda)_{\max} = 680$ лм/Вт. Таким образом, световой поток сложного из-

$$\text{лучения: } \Phi = 680 \int_{\lambda_1=0,38\text{мкм}}^{\lambda_2=0,78\text{мкм}} \varphi_e(\lambda)V(\lambda)d\lambda \text{ и } \Phi = 680 \sum_{i=1}^n V_{\lambda_i} \Phi_{e\lambda_i},$$

где n – число линий в спектре; $V(\lambda)$ – относительная световая эффективность монохроматического излучения; $680 \int \varphi_{e\lambda} V_\lambda d\lambda$ и $680 V_\lambda \Phi_{e\lambda}$ – световой поток монохроматического излучения с длиной волны λ .

Световая эффективность K излучения (лм/Вт) с заданным спектральным составом $\varphi_e(\lambda)$ определяется отношением светового потока к соответствующему потоку излучения:

$$K = \frac{\Phi}{\Phi_e} = \frac{680 \int_{0,38}^{0,78} \varphi_e(\lambda)V(\lambda)d\lambda}{\int_{\lambda_i}^{\lambda_j} \varphi_e(\lambda)d\lambda}.$$

Относительная световая эффективность V сложного излучения равна

$$V = \frac{K}{(K_\lambda)_{\max}} = \frac{\int \varphi_e V(\lambda)d\lambda}{\int \varphi_e(\lambda)d\lambda}.$$

Световая отдача (лм/Вт) источника света определяется отношением светового потока и мощности источника света: $\eta = \frac{\Phi}{P}$.

Световая энергия излучения определяется произведением светового потока на время его действия при $\Phi = \text{const}$. $Q = \Phi t$; при $\Phi(t) = \text{var}$ $Q = \int_{t_1}^{t_2} \Phi(t)dt$, где $\Phi(t)$ – мгновенное значение светового потока. Единица световой энергии – люмен секунда (лм·с).

Применительно к импульсным источникам световую энергию называют *светосуммой*. Световую энергию импульсного источника излучения с переменным во времени световым потоком – светосилу, лм·с определяют за время вспышки t :

$$Q = \int_0^t \Phi(t) dt.$$

Световую отдачу вспышки (лм/Вт) принято определять отношением световой энергии импульса к энергии, запасенной в конденсаторе,

$$\eta = \frac{\int_0^t \Phi(t) dt}{cV_0^2 / 2},$$

где c – емкость питающего конденсатора, V_0 – напряжение на конденсаторе в начале вспышки.

Сила света I – это пространственная плотность светового потока в заданном направлении:

а) для сложного излучения $I = \frac{d\Phi}{d\Omega},$

б) для монохроматического $dI_\lambda = \frac{d^2\Phi_\lambda}{d\Omega},$

где $d\Phi$ – световой поток; $d\Omega$ – телесный угол (стерадиан – ср).

Единица силы света – кандела (candela) – сила света, излучаемого в перпендикулярном направлении $1/6 \cdot 10^5 \text{ м}^2$ поверхности черного тела при температуре затвердевания платины ($E = 2045 \text{ К}$) и давлении $101\,325 \text{ паскалей (Па)}$ $1 \text{ кд} = 1 \text{ лм} \cdot \text{ср}^{-1}$.

Пространственная плотность светового потока, как правило, неодинакова по различным направлениям пространства, поэтому значение силы света определяется направлением. Для источников света с симметричным светораспределением все значения силы света в любом направлении угла α к оси симметрии источника одинаковы. Следовательно, так же как сила излучения, сила света симметричного источника однозначно определяется и индексируется углом α .

Сила света несимметричного источника света определяется углами α и β .

Распределение в пространстве потока излучения точечного источника однозначно определяется его *фотометрическим телом* – частью пространства, ограниченного поверхностью, проведенной через концы радиус-векторов силы излучения.

Сечение фотометрического тела плоскостью, проходящей через начало координат (через точечный источник), определяет *кривую силы света* (КСС) источника для данной плоскости сечения.

Если фотометрическое тело имеет ось симметрии, источник излучения характеризуют КСС в продольной плоскости.

Световой поток источника света определяется по КСС, если фотометрическое тело имеет ось симметрии. Если КСС $I(\alpha)$ задана графиком или таблицей, расчет светового потока источника определяется выражением:

$$\Phi = \sum_{i=1}^n I_{\alpha i} \Delta\Omega_{i,i+1},$$

где $I_{\alpha i}$ – среднее значение силы света в заданном телесном узле;

$$\Delta\Omega_{i,i+1} = 2\pi(\cos\alpha_i - \cos\alpha_{i+1}).$$

Примерные графики КСС несимметричных источников света показаны на рис. 6 в декартовой (6,а) и полярной (6,б) системах координат.

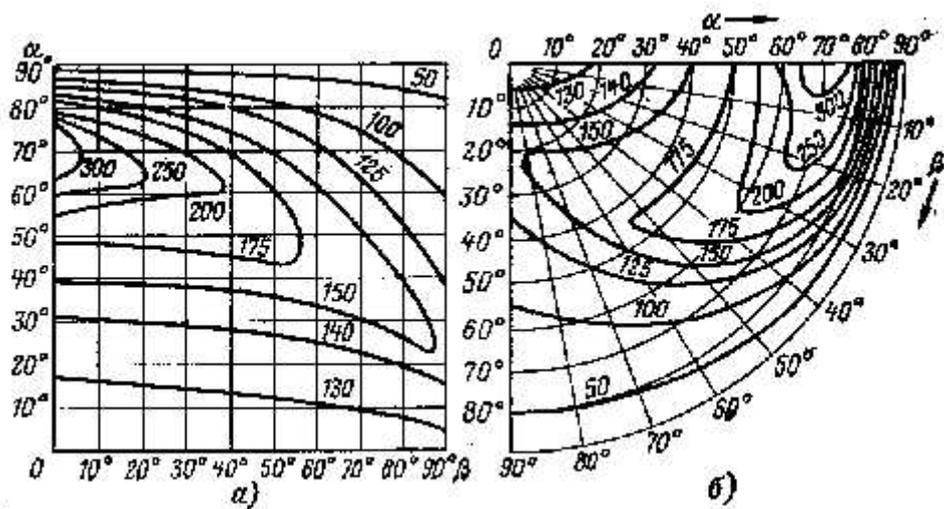


Рис. 6

Освещенность – это плотность светового потока по освещаемой поверхности. Определяется по формулам:

а) для сложного излучения $E = \frac{d\Phi}{dA_0}$, или $E = 680 \int_{0,38}^{0,78} l_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda$;

б) для монохроматического излучения $dE_\lambda = \frac{d^2\Phi_\lambda}{dA_0}$, или

$dE_\lambda = 680 l_{e\lambda} V_{e\lambda} d\lambda$, где $l_{e\lambda}$ – спектральная плотность облученности ($\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{мкм}^{-1}$); dA_0 – площадь освещаемой поверхности.

Единица освещенности – люкс (лк). Принято считать освещенность, создаваемую световым потоком, равным 1 лм, равномерно распределенным по поверхности, площадь которой равна одному квадратному метру:

$$1 \text{ лк} = \frac{1 \text{ лл}}{1 \text{ м}^2}.$$

Световую энергию, упавшую на единицу площади поверхности освещаемого тела, называют *экспозицией* (количество освещения) H

$$H = \int_{t_1}^{t_2} E(t) dt,$$

где $E(t)$ – мгновенное значение освещенности. При $E(t) = \text{const}$ $H = Et$ (лк·с).

Экспозицией определяют меру реакции приемника во всех фотохимических процессах, в которых число молекул, вступающих в реакцию, определяется не только плотностью эффективного потока по облучаемой поверхности, но также и длительностью процесса.

$$\text{Яркость поверхности } L: L_{\alpha\beta} = \frac{dI_{\alpha\beta}}{\cos\alpha dA}, \text{ или } L_{\alpha\beta} = \frac{d^2\Phi_{\alpha\beta}}{\cos\alpha dA d\Omega_{\alpha\beta}},$$

где $d\Phi_{\alpha\beta}$ – световой поток в пределах телесного угла $d\Omega_{\alpha\beta}$ излучаемый элементарным участком dA поверхности излучателя; $\cos\alpha dA$ – площадь проекции элементарного излучателя dA на плоскость, перпендикулярную оси телесного угла $d\Omega_{\alpha\beta}$.

Из уравнения $L_{\alpha\beta}$ следует, что яркость любого элементарного участка световой поверхности определяется соотношением силы света $dI_{\alpha\beta}$ излучающего элемента dA к площади его проекции $\cos\alpha dA$ на плоскость, перпендикулярную заданному направлению α и β .

Яркость объекта наблюдения определяет уровень зрительного ощущения.

Светимость поверхности M – это плотность излучаемого (отражаемого) светового потока по площади поверхности излучающего (отражающего) тела:

$$M = \frac{d\Phi}{dA}, \text{ или } M = \int L(\alpha, \beta) \cos\alpha d\Omega \text{ и } M = 680 \int m_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda,$$

где $m_e(\lambda) = \frac{dm_{e\lambda}}{d\lambda}$ – спектральная плотность энергетической светимости излучающей поверхности; $L(\alpha, \beta)$ – яркость излучающей (отражающей)

поверхности; α - угол между нормалью к dA и осью $d\Omega$. Единица светимости – лм/м². Светимость можно также характеризовать плотностью светового потока, отраженного от диффузной поверхности и прошедшего через рассеивающие материалы (молочное и матированное стекло, пластмассы):

а) для отраженного излучения $M_\rho = \frac{d\Phi_\rho}{dA} = \rho \frac{d\Phi}{dA} = \rho E$;

б) для излучения, прошедшего через рассеивающие материалы,

$$M_\tau = \frac{d\Phi_\tau}{dA} = \tau \frac{d\Phi}{dA} = \tau E,$$

где ρ – коэффициент отражения; τ – коэффициент пропускания.

Двойственность световоспринимающего аппарата глаза, а также различие спектральной чувствительности палочек и колбочек приводят к изменению спектральной и интегральной чувствительности глаза в функции уровня яркости и спектра излучения, как это показано на рис. 7. Эти процессы называют яркостной и цветовой адаптацией.

Адаптация – это приспособление зрительного аппарата к заданной яркости и цветности поля зрения путем регулирования концентрации молекул родопсина и иодопсина в палочках и колбочках, а также перестройка рецептивных полей и экранирование сетчатки пигментом при высоких яркостях.

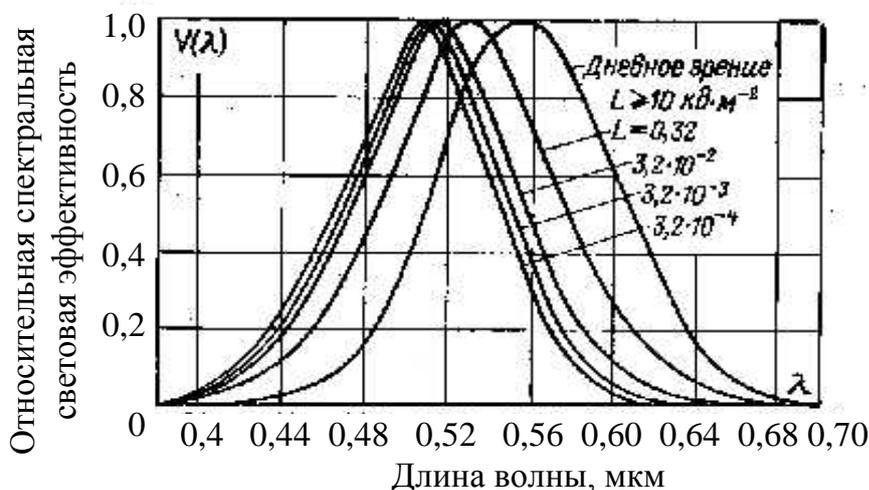


Рис. 7

Функции спектральной световой эффективности излучения $V(\lambda)$ для каждого уровня яркости на интервале $0,01 \leq L \leq 10 \text{ кд/м}^2$ определяется уровнем адаптации глаза.

Наличие эффекта неодинакового зрительного ощущения разноспектральных излучений при одинаковой их яркости $L \leq 10 \text{ кд/м}^2$ привело к

введению понятия *эквивалентной яркости излучения* заданного спектрального состава, определяемой как яркость равносветлого оптически сложного излучения условленного спектрального состава с цветовой температурой $T_{ц} = 2045$ К.

Из графиков рис. 8 видно, что при $L = 10^{-2}$ кд/м² эквивалентные яркости синего и красного излучений различаются более чем на порядок.



Рис. 8

Эквивалентная яркость излучения $L_{эк}$ определяется по формуле

$$L_{эк} = \kappa \int_{0,38}^{0,78} \ell_e(\lambda) V(\lambda, L_{эк}) d\lambda,$$

где $\kappa = 680 \psi(\lambda, L_{эк})$ – функция спектрального состава эталонного излучения и $L_{эк}$; в условиях дневного зрения $\kappa = 680$. $\ell_e(\lambda)$ – спектральная плотность энергетической яркости исследуемого излучения.

Для определения $L_{эк}$ методом приближения сначала определяют $L_{эк}$ по заданному L и спектральному составу излучения, а также различных соотношений долей потока излучения h в красной, зеленой и синей зонах видимого спектра и при различных значениях коэффициентов.

$$h_c = \frac{\Delta\Phi_{ec}}{\Phi_e}; h_z = \frac{\Delta\Phi_{ez}}{\Phi_e}; h_k = \frac{\Delta\Phi_{ek}}{\Phi_e},$$

где $\Delta\Phi_{ec}; \Delta\Phi_{ez}; \Delta\Phi_{ek}$ – потоки излучений в синей, зеленой и красной зонах спектра заданного излучения. Суммарный поток излучения определяется суммой $\Phi_e = \Delta\Phi_{ec} + \Delta\Phi_{ez} + \Delta\Phi_{ek}$.

1.4. Основные положения колориметрии. Законы смешения цветов. Цветовое пространство

Цвет есть трехмерная векторная величина, характеризующая группу излучателей, визуально не различимых в колориметрических условиях наблюдения.

Цветовая метрика основывается на законах смешения цветов, установленных Грассманом.

Первый основной закон Грассмана: любой цвет может быть составлен путем смешения трех основных цветов (в различных пропорциях), каждый из которых нельзя получить смешением двух других. Иными словами, цвет определяется тремя независимыми переменными, составляющими равенство вида:

$$C = r [R] + g [G] + b [B],$$

где $[R]$, $[G]$, $[B]$ – единичные количества основных цветов системы измерения; r , g , b – доли единичных основных цветов, обеспечивающих цветное равенство, т.е. координаты данного цвета.

Значения координат может быть как положительным, так и отрицательным, поскольку в некоторых случаях для получения цветного равенства требуется прибавление к измеряемому цвету одного или двух основных цветов.

Второй закон смешения цветов говорит о непрерывности изменения цвета при непрерывном изменении спектрального распределения излучения.

Согласно *третьему закону смешения* цвет смеси зависит только от цветов смешиваемых компонентов и не зависит от спектральных составов, т.е. один и тот же цвет может иметь излучение различных спектральных составов. Из этого закона следует, что координаты цвета смеси равны суммам координат смешиваемых цветов.

Из законов Грассмана следует представление о векторе цвета, три составляющие которого имеют общее начало и разные направления в пространстве. Цвет может быть представлен как диагональ параллелепипеда, построенного на этих составляющих.

Совокупность трехмерных векторов цвета составляет цветовое пространство. Каждому цвету соответствует лишь один вектор в цветовом пространстве. Цвета, располагающиеся на одной прямой, исходящей из начала координат, т.е. различающиеся между собой лишь по интенсивно-

сти, характеризуются одной и той же цветностью. Таким образом, цветность указывает направление вектора цвета в пространстве и определяется двумя координатами.

Для изображения координат цветности используется цветовой треугольник, который представляет собой сечение трехкоординатного пространства плоскостью, проходящей через единичные цвета выбранной системы измерения.

Координаты цветности – относительные величины, определяющие положение точки в треугольнике.

Выбор трех основных цветов системы зависит от решения координатной задачи. Переход от одной системы к другой осуществляется в соответствии с третьим законом Грассмана путем линейного преобразования. Коэффициенты, входящие в матрицу преобразования системы цветных координат, являются координатами новых основных цветов в старой системе:

$$\begin{cases} x = x_r r + x_g g + x_b b, \\ y = y_r r + y_g g + y_b b, \\ z = z_r r + z_g g + z_b b. \end{cases}$$

Известно, что никакие реально существующие цвета RGB, принятые за основные, не могут обеспечить положительных значений координат цвета для всех цветов, которые можно получить лишь при выборе основных цветов, лежащих за пределами реальной области цветов и не связанных с какими-либо излучениями, а имеющими лишь расчетный смысл.

В качестве таких цветов МОК была выбрана система цвета x, y, z в 1931 г. как стандартная, основанная на экспериментальных данных по определению координат цветности монохроматических излучений с использованием стандартизированной кривой относительной спектральной световой эффективности излучения.

Функции сложения цвета в этой системе имеют лишь положительные значения в пределах всего видимого спектра.

Ординаты кривых сложения $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ представляют собой координаты цвета монохроматических излучений постоянной мощности в системе x, y, z . Они соответствуют угловому размеру поля зрения 2° и определяют стандартного колориметрического наблюдателя МОК.

Функция $\bar{y}(\lambda)$ совпадает с функцией относительной спектральной световой эффективности $v(\lambda)$ стандартного фотометрического наблюдения МОК.

В 1964 г. МОК были рекомендованы в качестве дополнительных функций сложения для поля зрения 10° : $\bar{x}_{10}(\lambda)$, $\bar{y}_{10}(\lambda)$, $\bar{z}_{10}(\lambda)$.

Таким образом, в системе x, y, z ни один реальный цвет не имеет отрицательных координат цвета; все цветности расположены внутри цветового треугольника. Количественная оценка излучений осуществляется на основе значений координаты y ; единичный цвет y имеет световой поток 680 лм; единичные цвета x и z не имеют световых потоков.

Для источника E с равноэнергетическим спектром все три координаты цвета равны; его цветность располагается в центре цветового треугольника. Для спектральных цветов в диапазоне 575 – 700 нм координата цвета z равна нулю.

Координаты цветности x, y, z связаны с координатами цвета X, Y, Z соотношениями:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}; \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z}; \quad z = \frac{Z}{X + Y + Z},$$

и поскольку $x + y + z = 1$, то обычно ограничиваются значениями координат x, y . Практические расчетные формулы для координат цвета:

$$X = \sum_{380}^{780} \Phi_{e\lambda}(\lambda) \rho(\lambda) \bar{x}(\lambda) \Delta\lambda; \quad Y = \sum_{380}^{780} \Phi_{e\lambda}(\lambda) \rho(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda; \quad Z = \sum_{380}^{780} \Phi_{e\lambda}(\lambda) \rho(\lambda) \bar{z}(\lambda) \Delta\lambda.$$

Значения $\Phi_{e\lambda}(\lambda) \bar{x}(\lambda)$, $\Phi_{e\lambda}(\lambda) \bar{z}(\lambda)$ в координатном виде приводятся в таблицах справочников по светотехнике.

Контрольные вопросы и задания

1. Что понимается под точечным источником излучения?
2. Какая из световых величин характеризует пространственную плотность светового потока, а какая – поверхностную?
3. Что характеризует кривая силы света и как осуществляется ее построение?
4. Что понимается под приемником лучистой энергии? Приведите примеры некоторых видов приемников.
5. Какие качественные и количественные показатели определяют характеристику цвета?
6. Какие закономерности смещения цветов устанавливаются законами Грассмана?

2. ИСТОЧНИКИ СВЕТА

2.1. Параметры источников света (ламп)

Источником оптического излучения (ОИ) называют устройство, предназначенное для превращения какого-либо вида энергии в ОИ (электромагнитное излучение с длинами волны от 1 до 10^6 нм). Оптическое излучение отдельных атомов, ионов, молекул, а также жидких и твердых тел возникает в результате переходов их валентных электронов из возбужденных состояний, в которые они попадают в результате поглощения энергии извне, в состояние с меньшей энергией. При этом частота излучения $\nu = (w_2 - w_1)/h$, где w_2, w_1 – соответственно энергии начального и конечного состояний, h – постоянная Планка.

По физической природе различаются ОИ тепловое и ОИ люминесцентное. Тепловое ОИ с непрерывным спектром (у твердых тел) возникает при их нагревании. Тепловые излучатели: электрические лампы накаливания ЛН, угольная дуга. Люминесценцией называют спонтанное излучение, избыточное над тепловым излучением, если его длительность значительно превышает период колебаний волны соответствующего излучения. Люминофоры бывают твердыми и жидкими.

Различают электролюминесценцию ОИ атомов, ионов, молекул жидких и твердых тел под действием ударов электронов, движущихся со скоростями, достаточными для возбуждения. Излучение газоразрядных ламп представляет собой электролюминесценцию газов и паров. Электролюминесценция твердых тел используется в светодиодах и электролюминесцентных панелях.

В электронно-лучевых трубках используется катодолюминесценция (свечение люминофора под давлением пучка ускоренных электронов).

Фотолюминесценция возникает в результате поглощения телами ОИ.

Источники света характеризуются следующими параметрами.

Излучение ламп:

- световым потоком $\Phi_e, (\Phi_v)$;
- силой излучения (силой света) $I_e, (I_v)$;
- энергетической (световой) яркостью $L_e, (L_v)$; ее распределением по поверхности светящегося тела и направлениям, спектральной плотностью вышеперечисленных величин (спектром излучения).

Электрический режим:

- мощностью лампы $P_{л}$;
- рабочим напряжением на лампе $U_{л}$;
- напряжением питания $U_{с}$;
- током I и родом тока ($=, \approx$);
- потерями мощности в пускорегулирующей аппаратуре ГЛ;
- коэффициентом мощности лампы ГЛ.

Цвет излучения ламп дополнительно характеризуется:

- координатами цветности X и Y ;
- цветовой температурой $T_{ц}$ и индексами цветопередачи: общим R_a и спектральным R_i .

Цвет лампы ДРЛ характеризуется «красным отношением».

Основные геометрические параметры:

- габаритные и присоединительные размеры;
- высота цветового центра;
- размеры излучающего тока.

Конструктивные параметры:

- форма колбы и ее оптические свойства;
- тип цоколя, конструкция электродов и т.д.

Температурный режим обеспечивается правильным выбором размеров в соответствии с типом и мощностью лампы, а также правильными условиями эксплуатации: рабочее положение лампы, вентиляция светильника, температура окружающей среды.

Эффективность лампы η оценивается коэффициентом полезного действия (КПД) и эффективной отдачей лампы:

- энергетический КПД: $\eta_{\text{э.л}} = \left(\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_{\text{е.л}}(\lambda) d\lambda \right) / P_{л}$;

- эффективный КПД: $\eta'_{\text{эф.л}} = \left(\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_{\text{е.л}}(\lambda) S(\lambda) d\lambda \right) / P_{л}$, где $S(\lambda)$ относительная спектральная чувствительность приемника излучения;

- эффективная отдача лампы: $\Phi_{\text{эф.л}} / P_{л} = S_{\text{max}}(\lambda) \eta_{\text{эф.л}}$.

$\Phi_{\text{эф.л}}$ – эффективный поток. Если приемник – человеческий глаз, то это световой поток в люменах;

– относительная спектральная световая эффективность излучения.

Тогда световая отдача лампы $\eta = \frac{\Phi}{P_{\text{л}}} = 680 \left(\int_{380}^{780} \Phi_{\text{е.л}}(\lambda) v(\lambda) d\lambda \right) / P_{\text{л}}$.

Световой коэффициент соответственно $\eta_{\text{св.л}} = \left(\int_{380}^{780} \Phi_{\text{е.л}}(\lambda) v(\lambda) d\lambda \right) / P_{\text{л}}$.

Показатели долговечности:

– *полный срок службы* – это продолжительность горения ламп от начала эксплуатации до момента частичной или полной утраты ими работоспособности;

– *полезный срок службы* – это продолжительность горения лампы от начала эксплуатации до момента ухода за установленные пределы одного из параметров, определяющих целесообразность использования ламп данного типа, например снижение яркости или потока ниже определенного предела.

На основании статистических данных для выборок из партии устанавливаются показатели безотказности, которые распространяются на всю партию.

2.2. Основные типы источников света.

Области применения и тенденции развития

Большинство современных ИС относится к категории электрических. По принципу действия их можно разделить на две группы:

1. *Лампы накаливания* (ЛН) используются для освещения, на которое расходуется 13 % всей вырабатываемой энергии. Выпуск составляет около 2 млрд в год. Простота эксплуатации, низкая цена, высокомеханизированное производство, широкая область использования – положительные качества.

Недостатки: низкая световая отдача 10 – 20 лм/Вт при сроке службы 1 000 ч. Световая отдача галогенных ламп 26 лм/Вт при сроке службы 2 000 ч. Только 7 – 13 % излучения нагретой вольфрамовой нити приходится на видимый спектр и 70 – 76 % – на инфракрасный диапазон.

2. *Газоразрядные лампы* (ГЛ), у которых световая отдача в 5 – 10 раз, срок службы в 10 – 20 раз превышают аналогичные параметры ЛН и кото-

рые успешно вытеснили ЛН в системе внутреннего и наружного освещения.

Лампы специального назначения – ИК-диапазона, УФ-диапазона, лампы-фары, зеркальные лампы – светильники и т.д.

В перспективе ожидается развитие ГЛ, оптоэлектронных приборов, лазерной техники.

Электрические вольфрамовые лампы накаливания

Различают:

1) *ЛН общего назначения* для освещения бытовых и части административных и производственных помещений;

2) *ЛН специального назначения*: автомобильные, железнодорожные, судовые, прожекторные и т.д.

Конструкция лампы общего назначения показана на рис. 9: 1 – стеклянная колба; 2 – вольфрамовое тело накала; 3 – молибденовые крючки; 4 – электроды; 5 – стеклянный стержень (штабик); 6 – линза; 7 – полый стеклянный цилиндр; 8 – лопатка – верхняя часть, в которой соединены штабик, электроды и откачная трубка 9 (штенгель); 10 – отверстие в лопатке, через которое производится откачка лампы; 11 – металлический стакан цоколя, к которому припаян один из электродов; 12 – латунная контактная шайба, к которой припаивается второй электрод; 13 – стекломасса, с помощью которой скрепляется шайба со стаканом цоколя; 14 – мастика для скрепления цоколя со стальной колбой.

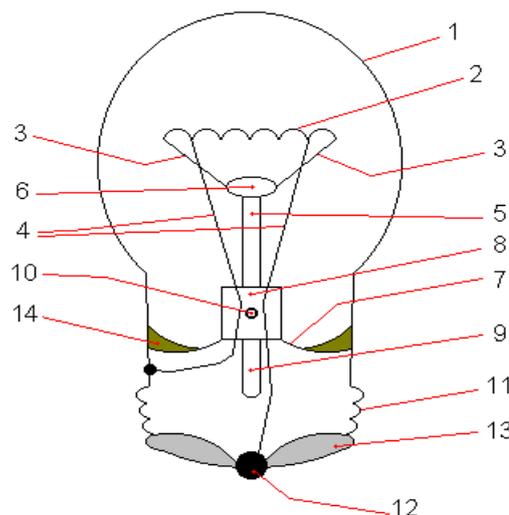


Рис. 9

Штабик с крючками, тарелка (нижняя часть цилиндра 7), электроды с телом накала и штенгель, собранные вместе, называются ножкой лампы.

Электрические параметры ЛН общего назначения (ОН) нормируются по ГОСТ 2239-79. Номинальные напряжения 127 – 135 и 220 – 235 В.

Разброс значений светового потока ламп, выпускаемых заводом, $\pm 5 - 10 \%$ от номинального.

Различают:

– полный срок службы ЛН ОН – время до перегорания;

- средний срок службы – время до 50 % перегорания партии ламп;
- гарантированный срок службы (по ГОСТ 700 часов);
- полезный срок службы – время, в течение которого световой поток уменьшается на 20 %, однако это не величина, определяемая ГОСТом, так как нет методики ее определения.

Форма тела накала: прямолинейная, спиральная, биспиральная и триспиральная.

Преобладающая форма тела накала – вольфрамовая спираль или биспираль.

Газополные лампы мощностью до 100 Вт делают с телом накала в виде вольфрамовой биспирали.

Форма колбы зависит от условий работы и рабочего положения. Наиболее употребительные типы цоколей: E – резьбовой; B_S – штифтовой одноконтный; B_d – штифтовой двухконтный; P – фиксирующий цоколь; SV – гладкий цилиндрический софитный.

Последующие цифры обозначают диаметр резьбы цоколя.

В маркировке ЛН общего назначения: В – вакуумная; Г – газонаполненная; Б – биспиральная газонаполненная; БК – биспиральная криптоновая.

Изменение электрических и светотехнических параметров ЛН ОН с изменением питающего напряжения в пределах $\Delta U \leq \pm 0,1U_H$ определяется по формуле

$$\frac{B}{B_0} = \left(\frac{U}{U_0} \right)^{m_\sigma},$$

где $m_\sigma = 3,6; 1,6; 2,0; 13$ для светового потока, электрической мощности, световой отдачи и срока службы соответственно; B и B_0 – значение одной из характеристик лампы при напряжении на лампе U и U_0 .

Галогенные лампы накаливания

Используются в различных оптических и световых приборах.

Выпускают более 120 видов. Колба ГЛН выполняется из кварцевого стекла. Тело накала из вольфрама. Внутри колбы пары йода при температуре от 250 до 1 200 °С образуют на стенках колбы йодистый вольфрам WI_2 , который испаряется и, попадая на нить накала, разлагается на вольфрам и йод, при этом происходит восстановление тела накала, пары йода возвращаются на стенки колбы и цикл повторяется.

Различают линейные (трубчатые) ГЛН (отношение длины к диаметру примерно 10) и точечные.

Устройство ГЛН показано на рис. 10, где 1 – вольфрамовая спираль; 2 – держатели из вольфрамовой проволоки; 3 – тонкая фольга из молибдена, обеспечивающая вакуумный впай вывода 4; 5 – колба; 6 – место запайки штенгеля.

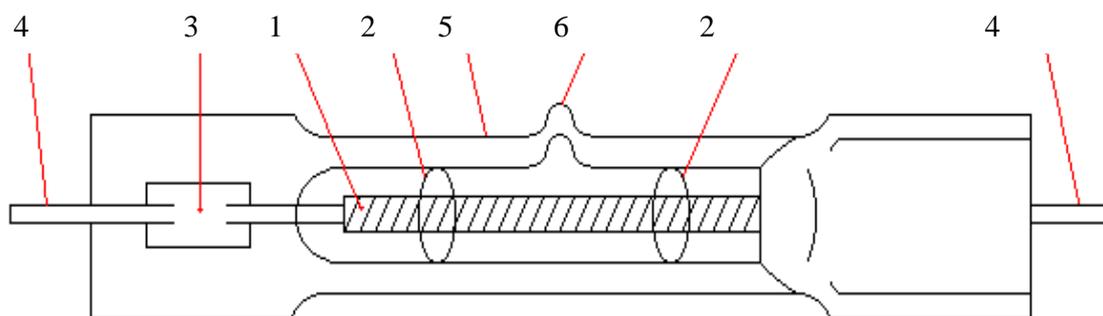


Рис. 10

Трубчатые ГЛН инфракрасного излучения выпускают на номинальное напряжение 220 и 360 В, мощностью от 1 000 до 4 500 Вт, со средней продолжительностью горения от 2 000 до 10 000 ч.

Осветительные кино- и телевизионные лампы – на 110 и 220 В, мощностью от 300 до 5 000 Вт и $t_{cp}=200 - 2 000$ ч.

Рабочее положение трубчатой ГЛН горизонтальное.

Малогабаритные точечные ГЛН используются в различных проекционных приборах и автомобильных фарах. Они имеют более высокие габаритные яркости, чем трубчатые, более высокие температуры накала 3 000 – 3 200 °С, меньшие средние продолжительности накала. Номинальное напряжение 6,6 – 127 В, мощность от 15 до 620 Вт.

Маркировка галогенных ламп накаливания:

- первая буква – материал колбы (К – кварцевое стекло);
- вторая – цикл (И – йодный, Г – галогенный);
- третья буква – область применения или габариты (О – облучательная; И – инфракрасная; М – малогабаритная; К – кварцевая (термоизлучатель));

– далее через дефис – напряжение и мощность.

Например, КГ-220-1000-4, КГК-220-3000.

Газоразрядные источники излучения (ГИИ)

В ГИИ излучение оптического диапазона возникает в результате электрического разряда в атмосфере инертных газов, паров металла или их смесей. Впервые на эту возможность указал в 1802 г. академик В.В. Петров, но практическое использование дуговых источников для целей освещения было предложено и реализовано только в 1872 г. П.Н. Яблочковым («свеча Яблочкова»). Дуговые лампы с открытой дугой (разряд в атмосфере воздуха) используются и до настоящего времени как мощные источники света в проекторах и кинопроекторных установках. Введение в угольные стержни солей редких земель позволяет получить высокоинтенсивную дугу с яркостью до $(90 - 145) \cdot 10^6$ кд/м².

ГИИ имеют ряд преимуществ перед лампами накаливания:

1. Более высокая световая отдача и средняя продолжительность горения, как показано в табл. 1.

Таблица 1

| Источник света | световая отдача $\eta_{\text{л}}$, (лм/Вт) | Средняя продолжительность горения $t_{\text{ср}}$, ч |
|------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Лампы накаливания: | | |
| – ЛН общего применения | 7 – 20 | 1 000 |
| – кварцевые галогенные | 26 – 28 | 220 – 450 |
| Газоразрядные источники излучения: | | |
| – люминесцентные лампы | 33 – 78 | 12 000 |
| – натриевые ВД | 117 | $\leq 20 000$ |
| – металлогалогенные дуговые | 76 – 96 | 1 500 – 1 600 |

2. ГИИ могут иметь линейчатый спектр с расположением линий в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной частях спектра и сплошной на любом участке оптической области спектра. Поэтому ГИИ можно использовать в осветительных установках промышленных, жилых и общественных зданий, в светосигнальных установках различного назначения, а также в облучательных установках теплиц.

3. ГИИ могут иметь яркость значительно большую, чем яркость ламп накаливания.

4. Излучение ГИИ обладает малой инерционностью, что позволяет модулировать излучение такой лампы.

5. ГИИ из-за малой инерционности пригодны для создания импульсных источников света.

Недостатки ГИИ:

- из-за линейчатого спектра ухудшается цветопередача;
- безинерционность излучения газоразрядных ламп приводит к появлению пульсаций светового потока и связанного с ним стробоскопического эффекта при работе ламп на переменном токе (рис. 11,а);

- большинство газоразрядных ламп имеют падающую ВАХ и для стабилизации тока таких ламп необходимо последовательно с ними включать балластное устройство (индуктивность, емкость, активное сопротивление), как это показано на рис. 11,б. Наличие балластного устройства приводит к усложнению включения лампы в сеть, повышает капитальные и эксплуатационные расходы;

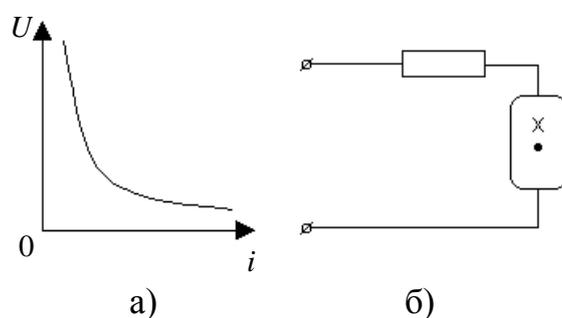


Рис. 11

- напряжение зажигания у газоразрядных ламп обычно значительно превышает рабочее напряжение лампы, а часто и напряжение сети, в которой работает лампа. Поэтому для включения большинства типов газоразрядных ламп приходится применять достаточно сложные и громоздкие пускорегулирующие аппараты (ПРА);

- период разгорания ГИИ составляет 10 – 15 мин;
- лампы высокого (ВД) и сверхвысокого (СВД) давления, работающие с парами металлов, нельзя быстро повторно зажечь без сложного ПРА.

Устройство люминесцентных ламп, их типы и параметры

Люминесцентные лампы (ЛЛ) – это лампы низкого давления, в разрядном промежутке которых находятся пары ртути при давлении 0,8 до 1,33 Па (0,006 до 0,01 мм рт.ст.) и аргон или другой инертный газ под давлением в несколько сотен паскалей. Аргон служит для обеспечения зажи-

гания лампы, предохраняет катоды от интенсивного разрушения и повышает световую отдачу лампы. У ЛЛ световая отдача выше, чем у ламп накаливания ($\eta_{\text{л}} = 90 - 100$ лм/Вт; $t_{\text{ср}} = 15\,000$ ч). Это объясняется высоким энергетическим выходом резонансного излучения ртутного разряда и высокой световой отдачей излучения люминесценции.

Конструкция ЛЛ показана на рис. 12: 1 – цилиндрическая стеклянная колба; 2 – экраны для уменьшения распыления оксидного слоя в анодный период; 3 – два электрода в виде вольфрамовой биспирали с оксидным слоем; 4 – люминофор; 5 – капля ртути (весом 30 – 80 мг). Она внешне достаточно проста, однако технология их изготовления сложная.

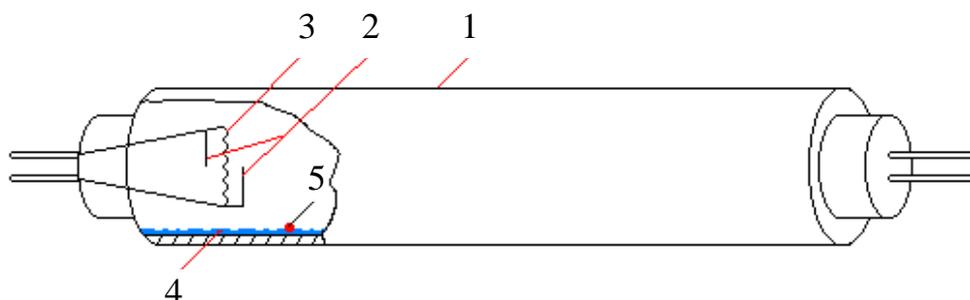


Рис. 12

Экраны 2 ставятся в лампах мощностью больше 80 Вт. Электрический разряд происходит в атмосфере насыщенных паров ртути.

По форме колбы ЛЛ бывают: прямые цилиндрические, секционнорычковые, кольцевые и U-образные.

В качестве люминофора для осветительных ламп применяют галофосфат кальция, активированный марганец и сурьму. Максимум полосы излучения марганца 580 нм, сурьмы – 480 нм.

Для декоративных ЛЛ в качестве люминофоров применяют вальфраматы, силикаты и другие кристаллофосфоры.

Электрические параметры: ЛЛ изготавливают на следующие мощности: 3, 4, 6, 8, 15, 20, 30, 40, 65, 80, 150 Вт, а зарубежные ЛЛ – еще и на 90, 100, 125, 200, 250 Вт.

Напряжение зажигания ЛЛ часто бывает значительно выше напряжения сети. Кратковременное повышение напряжения на лампе при одновременном подогреве ее электродов осуществляется ПРА. ЛЛ мощностью до 20 Вт со своим ПРА предназначены для сетей 127 В, а при $P \geq 30$ Вт для сетей 220 В.

Рабочее напряжение на лампе выбирается $U_{\text{л}} = 0,5 - 0,65 U_{\text{с}}$. Рабочий ток лампы $I_{\text{л}} = P_{\text{л}}/k_{\text{л}}U_{\text{л}}$, где $k_{\text{л}}$ – коэффициент мощности, который зависит от мощности и схемы ее включения (при использовании дросселя $k_{\text{л}} = 0,86 - 0,92$).

Светотехнические параметры ЛЛ: световой поток Φ ; сила света I_{α} и ее пространственное распределение $I(\alpha)$; яркость L_{α} ; спектральный состав излучения, который характеризуется спектральной плотностью потока излучения $\varphi(\lambda)$. За номинальный световой поток принимается такой, который имеет ЛЛ после 800 ч горения. ГОСТ нормирует также световой поток ЛЛ после 4 800 ч горения.

Поверхность ЛЛ не является равнояркой. Сила света I_{90} , излучаемая ЛЛ в направлении, перпендикулярном ее оси, связана со световым потоком лампы соотношением $\Phi \cong 9,25 I_{90}$.

По спектральному составу стандартные ЛЛ, используемые для целей освещения, делятся на четыре типа:

1. ЛД – лампы дневного света, имеющие цветовую температуру $T_{\text{ц}} = 6\,000$ К. При повышенных требованиях к цветопередаче используются лампы ЛДЦ с более низкой световой отдачей.

2. ЛХБ – лампы холодного белого света, $T_{\text{ц}} = 4\,300$ К.

3. ЛБ – лампы белого света, $T_{\text{ц}} = 3\,450$ К (эти ЛЛ имеют самую высокую световую отдачу среди ЛЛ).

4. ЛТБ – лампы теплого белого света, $T_{\text{ц}} = 2\,600$ К.

Для освещения помещений, в которых нужна хорошая цветопередача цветовых объектов, изготавливают также ЛЛ следующих типов: ЛБЦ, ЛХБЦ, ЛЕЦ. Лампы белого цвета ЛБ с улучшенной цветопередачей предназначены для освещения помещений, в которых нужна хорошая цветопередача человеческого лица.

Экономические и эксплуатационные параметры ЛЛ:

– номинальная световая отдача ЛЛ определяется по световому потоку, который имеет лампа после 100 ч горения: $\eta_{\text{л}} = \Phi_{100}/P_{\text{л}}$, где $P_{\text{л}}$ – мощность лампы без учета потерь ПРА, которые составляют 15 – 30 % от $P_{\text{л}}$;

– средний срок службы 12 000 – 15 000 ч. При изменении напряжения сети снижается срок службы ЛЛ. При понижении $U_{\text{с}}$ происходит ухудшение перезажигания лампы, а при повышении $U_{\text{с}}$ – увеличение рабочего тока лампы;

– при изменении напряжения сети на $\pm 10\%$ изменения электрических и световых параметров ЛЛ можно определить по формуле $\frac{\Delta B}{B} = m_B \frac{\Delta U_c}{U_c}$, где B и ΔB – соответственно интересующие нас параметры ЛЛ при напряжении сети U_c и их изменение, вызванное изменением сети на ΔU_c . Для схемы с дросселем рекомендуются следующие значения: для тока $m_i = 2,2$, мощности $m_p = 2,0$, светового потока $m_\phi = 1,5$.

Уменьшение светового потока в процессе горения ЛЛ оказывает заметное влияние на экономические показатели осветительных установок с ЛЛ и сокращает полезный срок службы ЛЛ.

Пульсации светового потока несколько сглаживаются инерционностью люминофора и характеризуются коэффициентом пульсации K_n :

$$K_n = \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{\Phi_{\max} + \Phi_{\min}},$$

где Φ_{\max} и Φ_{\min} – соответственно максимальное и минимальное значение светового потока, излучаемого лампой.

2.3. Схемы включения люминесцентных ламп

Люминесцентные лампы имеют падающую вольт-амперную характеристику и поэтому включаются в сеть только с пускорегулирующим аппаратом (ПРА). ПРА создает условия для возникновения и поддержания в лампе разряда с определенными параметрами, а некоторые из них устраняют радиопомехи, создаваемые ЛЛ, и улучшают $\cos \phi$ осветительной установки.

На практике в основном используют стартерные схемы включения ЛЛ и схемы быстрого зажигания.

Стартерные схемы включения люминесцентных ламп

Одноламповая стартерная схема включения ЛЛ, показанная на рис. 13, состоит из следующих компонентов:

1) симметрированного дросселя D_r , обмотки которого включены в каждый сетевой провод последовательно с электродами лампы, что позволяет снизить радиопомехи;

2) конденсатора C_k для улучшения $\cos \varphi$ и конденсатора C для уменьшения радиопомех;

3) стартера C_m .

Наиболее распространенным является стартер тлеющего разряда, один из электродов которого выполнен в виде крючка из биметаллической пластмассы, а колба наполнена инертным газом (рис. 14).

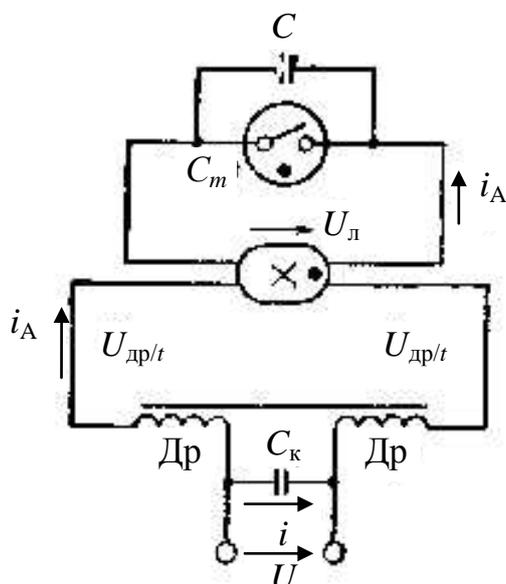


Рис. 13

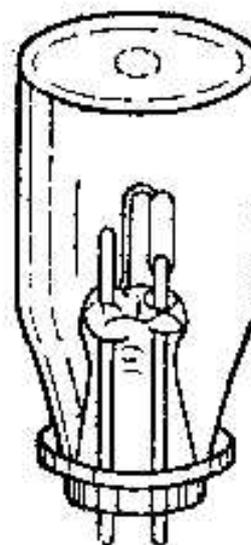


Рис. 14

Напряжение зажигания стартера ниже напряжения сети и выше напряжения зажигания ЛЛ (определяется давлением газа и расстоянием между электродами). При включении схемы тлеющий разряд в стартере нагревает электроды, биметаллический крючок распрямляется и замыкается со вторым электродом. При этом через электроды лампы и замкнутые контакты стартера протекает ток, нагревающий электроды до $800 - 900^\circ\text{C}$, что вызывает термоэмиссию достаточного количества электронов для начала разряда. Через некоторое время электроды стартера остывают, контакты размыкаются и разрывают цепь с дросселем. При этом на лампу подается импульс напряжения, под действием которого и начинается разряд.

Период тлеющего разряда, нагревание электродов и замыкание электродов стартера длится $0,3 - 1$ с. Период размыкания контактов стартера – от 1 до 100 мкс, при этом на ЛЛ подается короткий $10 - 100$ мкс импульс напряжения $500 - 1500$ В, вызывающий пробой разрядного промежутка в ЛЛ.

Достоинство стартера в простоте устройства и дешевизне.

Недостатки: нестабильность параметров; ненадежность контактов (вплоть до сварки); из-за короткого периода контактирования температура электродов ЛЛ может не достигнуть $800 - 900 \text{ }^\circ\text{C}$; при уменьшении промежутка между электродами может уменьшиться и напряжение зажигания и стать равным рабочему напряжению ЛЛ или меньше его (лампа будет непрерывно зажигаться и гаснуть до тех пор, пока не выйдет из строя); если импульс напряжения не обладает достаточной энергией или недостаточно прогрелись электроды ЛЛ, лампа при подаче импульса вспыхивает и тут же гаснет.

Для светильников с двумя ЛЛ используется схема с расщепленной фазой, показанная на рис. 15,а.

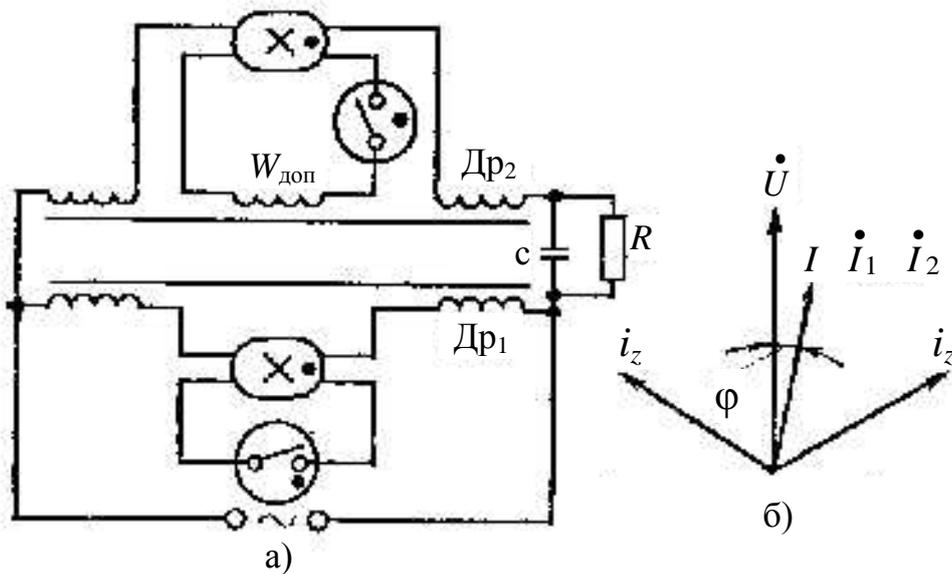


Рис. 15

Уменьшение стробоскопического эффекта достигается за счет сдвига токов I_1 и I_2 первой и второй ЛЛ на 120° , при этом $\cos \varphi = 0,9 - 0,95$ (рис. 15,б).

Дополнительная обмотка $W_{\text{доп}}$ служит для увеличения тока подогрева электродов ЛЛ в режиме зажигания.

Схемы быстрого зажигания ЛЛ (для ЛЛ с подогревными электродами)

Наиболее распространенными являются трансформаторные схемы БЗ (рис. 16).

В этой схеме подогрев электродов ЛЛ до необходимой температуры производится при помощи вторичных обмоток накаливающего трансформатора

НТ (см. рис. 16,а) или автотрансформатора АТ (см. рис. 16,б), сопротивление первичной обмотки которого Z значительно больше сопротивлений обмоток балластного дросселя Др, поэтому пока лампа не горит, напряжение на ней примерно равно напряжению сети. После зажигания лампы напряжение на ЛЛ и первичной обмотке снижается, что приводит к снижению токов подогрева катодов. Снижению напряжения зажигания способствует наличие проводящей полоски на колбе лампы, соединенной с одним электродом лампы либо заземленной.

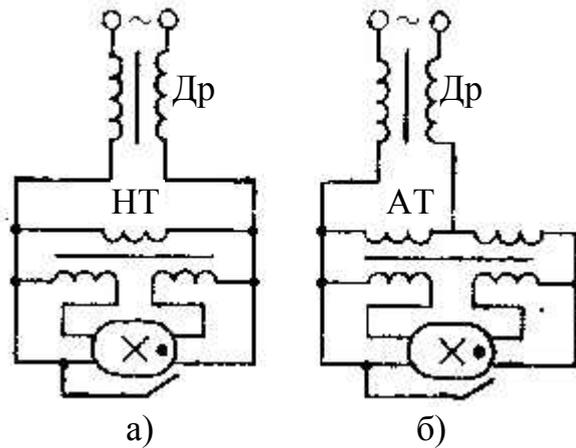


Рис. 16

Недостатки схемы: большая металлоемкость, большие потери мощности, чем в стартерной схеме.

Характерные особенности ламп высокого (ВД) и сверхвысокого (СВД) давления

Обеспечение точных зрительных работ нормированной освещенностью до 1 500 лк невозможно системами общего освещения с источниками света небольшой мощности. Кроме того ЛЛ не пригодны для уличного освещения при низких температурах. Поэтому разработаны мощные источники света на базе ртутных ламп высокого (ВД) и сверхвысокого (СВД) давления и мощных (10 – 40 кВт) металлогалогенных (ртутно-таллиевых, ртутно-таллиево-индивых и др.) ламп непрерывного действия.

Давление в колбе лампы от 0,3 до 8 ат называют высоким, а свыше 8 ат – сверхвысоким.

Ртутные лампы ВД и СВД выпускаются в цилиндрических и шаровых колбах. Диаметр цилиндрической колбы от 8 – 30, а расстояние между электродами $B_3 = 20 – 950$ мм.

Трубчатые лампы должны иметь:

- большую световую отдачу;
- рабочее напряжение, позволяющее включить их в сети общего освещения;
- большой срок службы.

Кроме того, их спектральный состав не должен искажать цветопередачу. Трубчатые лампы работают с естественным и искусственным охлаждением.

Лампы в шаровых колбах обладают большими яркостями и предназначены для использования в проекционных аппаратах. Однако световая отдача у них ниже, чем у цилиндрических, из-за малого (1 – 10 мм) расстояния между электродами.

В лампах некоторых типов устраивают один или два дополнительных электрода, которые располагаются вблизи рабочих электродов. Разряд начинается между вспомогательным и основным электродами и быстро переходит на рабочие электроды, так как сопротивление разрядного промежутка быстро становится меньше сопротивлений R_1 и R_2 , включенных между вспомогательными и рабочими электродами (рис. 17).

Колбы лампы ВД и СВД заполняют инертным газом под давлением, близким к рабочему давлению внутри лампы. На наружной поверхности цилиндрических ламп ВД и СВД иногда устанавливается узкая металлическая полоска, которая через конденсатор соединяется с одним из электродов лампы, что способствует возникновению разряда между рабочими электродами.

Колбы ламп ВД и СВД изготавливают из кварцевого стекла, электроды – из вольфрама с присадкой тория с конической (рис. 18,а) или шаровой (рис. 18,б) заточкой торцевой стороны, обращенной к другому электроду.

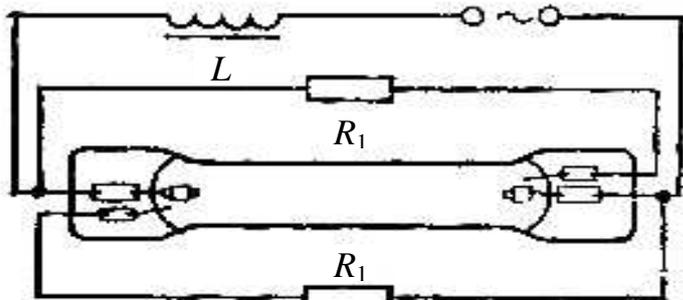


Рис. 17

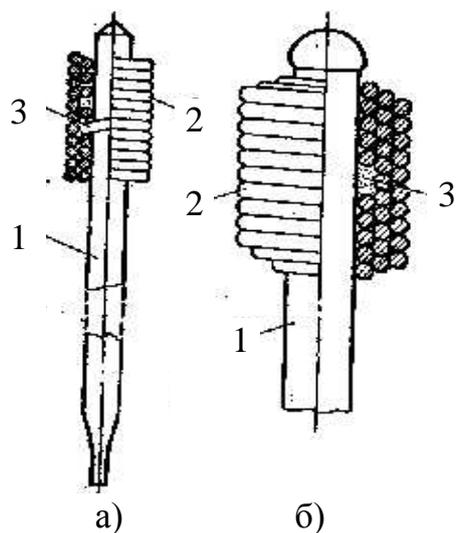


Рис. 18

Между вольфрамовой спиралью 2 и электродом 1 нанесена оксидная паста 3, облегчающая зажигание разряда. Разряд начинается на поверхности спирали и переходит на торцевую часть вольфрамового стержня.

Устойчивые характеристики ртутных ламп ВД и СВД получают при работе в атмосфере ненасыщенных паров ртути, графики давления которых от температуры показаны на рис. 19.

В области ненасыщенных паров наблюдается линейная зависимость между давлением и абсолютной температурой, а средняя плотность пара остается постоянной. $P = nkT$, где n – плотность паров; k – постоянная Больцмана; T – температура, К.

Лампы ВД и СВД выпускают с естественным и искусственным (водяным) охлаждением, они имеют следующие параметры:

1) электрические: мощность $P_{л}$, Вт; напряжение $U_{л}$, В; ток лампы $I_{л}$, А; напряжение сети $U_{сн}$, В; напряжение зажигания $U_{з}$, В; коэффициент мощности лампы $K_{л} = 1$.

2) светотехнические: световой поток Φ , лм; поток излучения Φ_e , Вт; яркость L , кд/м²;

3) экономические и эксплуатационные: световую отдачу излучения (КПД источника); средний срок службы лампы $t_{ср,г}$;

4) размеры лампы: расстояние между электродами $b_э$, мм; внутренний и внешний диаметры колбы лампы d_1 и d_2 , мм; габаритную длину b .

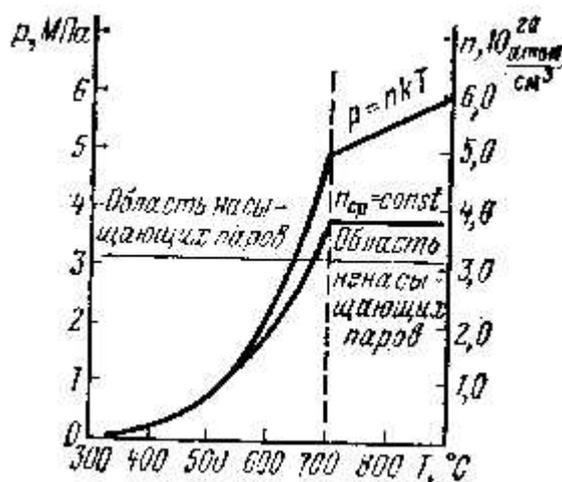


Рис. 19

Ртутная лампа с исправленной цветностью (ДРЛ)

Источником потока излучения у лампы ДРЛ служит ртутно-кварцевая лампа ВД с трубчатой колбой, которая называется горелкой. Горелка заключена в стеклянную колбу, на внутренней поверхности которой нанесен слой люминофора. Размеры наружной колбы определяются оптимальной рабочей температурой используемого люминофора. Для улучшения условий работы люминофора наружная колба заполняется углекислым газом (при арсенате магния) или инертным газом (при фторгерманате магния).

Средний срок службы отечественных ламп ДРЛ от 600 до 12 000 ч. Лампы ДРЛ широко используются в установках наружного освещения, а также в промышленных осветительных установках, где высокого качества цветопередачи не требуется.

Металлогалогенные дуговые лампы (ДРИ)

В ртутных лампах ВД используют химические соединения, которые в холодном состоянии находятся в связанном состоянии в металлогалогенном соединении. При разгорании разряда температура колбы повышается, металлогалогенные соединения испаряются, и его молекулы, попадая в высокотемпературную область разряда, разлагаются. В этой области появляются атомы чистого металла. Металлы, используемые в таких соединениях, имеют потенциалы возбуждения линий видимого участка спектра, не превышающие 4 В, а у атомов ртути такой потенциал не меньше 7,8 В. Поэтому поток излучения возбужденных атомов металла может быть больше потока, излучаемого атомами ртути, несмотря на то что давление паров ртути в сотни раз больше давления паров металла. Атомы металла, попадая в холодную зону лампы, опять восстанавливаются в молекулы металлогалогена, т.е. в горячей лампе образуется замкнутый цикл.

Натриевые лампы

Промышленность выпускает натриевые лампы низкого и высокого давления.

В натриевой лампе низкого давления разряд протекает в парах инертного газа или смеси инертных газов Ne и 0,5 – 1 % Ar при давлении 1 000 Па (7,5 мм рт. ст.) и парах натрия при 0,4 – 1 Па.

Разряд в такой среде излучает преимущественно две резонансные линии 589 и 589,6 нм, т.е. это практически монохроматическое излучение. Относительная спектральная чувствительность глаза к этим излучениям довольно высокая: 0,769 и 0,763. Оптимальное давление паров Na, равное 0,4 Па, можно получить при температуре колбы 260 – 270 °С.

Область применения таких ламп ограничена: освещение второстепенных улиц и автострад, что уменьшает их конкурентоспособность с другими видами ламп.

Кроме того, пары натрия воздействуют на кварцевое стекло, которое теряет прозрачность.

В натриевых лампах высокого давления (ДНаТ) горелки выполняются из поликристаллической окиси алюминия, на которую пары натрия не оказывают вредного влияния. При повышении давления паров натрия наблюдается значительное уширение резонансных линий натрия, обусловленное: 1) хаотическим тепловым движением излучающих атомов; 2) ударным, вызываемым столкновением излучающих атомов.

Трубчатые ксеноновые лампы высокой интенсивности типа ДКСТ

Эти лампы выпускаются с естественным и искусственным охлаждением мощностью от 1 до 100 кВт. Световой поток до $5 \cdot 10^6$ лм. ВАХ мощных сильноточных трубчатых ламп имеют прямолинейную возрастающую ветвь как для криптоновых (Kr) и ксеноновых (Xe) ламп, поэтому отпадает необходимость в балластном сопротивлении (рис. 20).

Это упрощает, но не устраняет ПРА, так как для возникновения разряда в инертном газе (ВД и СВД) необходимо подать на лампу напряжение, во много раз превышающее рабочее, или повышенное напряжение высокой частоты (порядка 25 – 30 кВ).

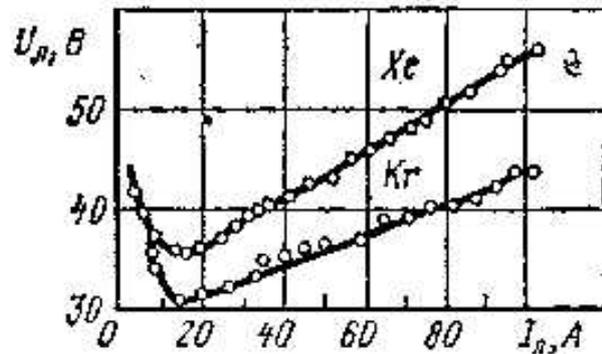


Рис. 20

Шаровые ксеноновые лампы ВД и СВД (ДКСШ и ДКСР)

Выпускаются с естественным и искусственным охлаждением мощностью от 1 до 20 кВт. В небольшом количестве выпускаются маломощные лампы до 50 Вт. Лампы с водяным охлаждением имеют разборный ввод (ДКСР), что позволяет существенно повысить мощности ламп этого типа.

Ксеноновые лампы ВД с короткой дугой имеют яркости до 10^4 Мкд/м². Эти лампы широко используются в кинопроекторной аппаратуре, прожекторах и концентраторах для нагрева тела до высоких температур и ведения плавки за счет концентрации потока излучения.

Мощные ксеноновые лампы с короткой дугой работают на постоянном токе и только в вертикальном положении с отклонением не более 10° . Анод лампы более массивный, чем катод, так как он нагревается бомбардировкой электронами и конвекционными потоками.

Срок службы такой лампы на переменном токе сокращается в 10 раз.

Принципиальные схемы включения ламп ВД и СВД

1. Ртутные лампы высокого давления типа ДРЛ

Основная схема включения четырехэлектродной лампы ДРЛ показана на рис. 21.

При подаче напряжения разряд возникает между основными и вспомогательными электродами из-за малого расстояния между ними. вспомо-

гательный разряд создает благоприятные условия для возникновения разряда между основными электродами. По мере развития разряда уменьшается сопротивление между основными электродами, сопротивления R шунтируются и разряд (вспомогательный) прекращается. Конденсатор C повышает коэффициент мощности ПРА.

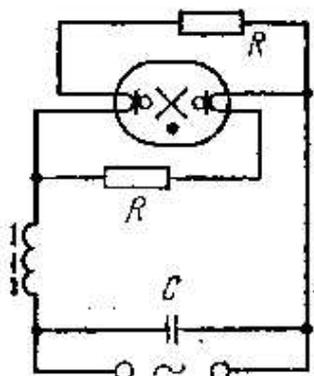


Рис. 21

Схема с симметрированным дросселем позволяет уменьшить радиопомехи и в два раза уменьшить амплитуду импульса напряжения на обмотке дросселя, что повышает надежность ПРА.

2. Лампы типа ДРИ

Напряжение зажигания металлогалогенных ламп типа ДРИ выше, чем у ламп типа ДРЛ, при одинаковых номинальных напряжениях, поэтому для них требуется дополнительное устройство поджига.

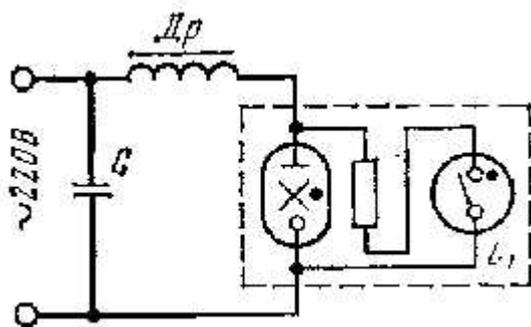


Рис. 22

На рис. 22 показана основная схема включения ламп ДРИ.

3. Натриевые лампы высокого давления

Для зажигания таких ламп необходим импульс напряжения выше 2 кВ. Одна из возможных схем ПРА показана на рис. 23,а (фирма «Осрам») для лампы типа «солаколор» с балластным дросселем и на рис. 23,б с автотрансформатором.

Тепловой стартер СТ и сопротивление R , предназначенное для нагрева биметаллического контакта стартера, размещаются между внутренней и внешней колбой

(см. рис. 23,а). В холодном состоянии контакты стартера замкнуты и через R протекает ток, нагревая его.

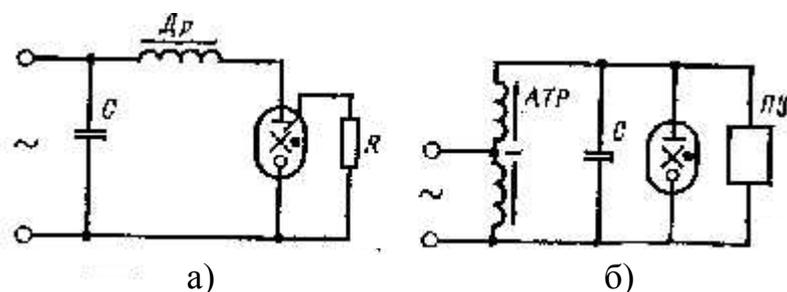


Рис. 23

При размыкании контактов возникает импульс напряжения, вызывающий зажигание разряда в лампе.

При размыкании контактов возникает импульс напряжения, вызывающий зажигание разряда в лампе.

Для большинства современных натриевых ламп высокого давления (типа ДНаТ) при пуске используются импульсные зажигающие устройства ИЗУ параллельного типа (см. рис. 23,б).

Контрольные вопросы и задания

1. В чем состоит принцип работы ламп накаливания и газоразрядных ламп?
2. Что такое люминесценция (электролюминесценция, фотолюминесценция, катодолюминесценция)?
3. Сравните по основным характеристикам лампы ДРЛ и ДРИ. Назовите области их применения.
4. Какие величины характеризуют экономичность ламп и светильников?
5. Перечислите основные светотехнические характеристики осветительных приборов и поясните, как они определяются.
6. Нарисуйте основные схемы включения газоразрядных ламп и охарактеризуйте их.

3. ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ИХ СВОТТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

3.1. Классификация осветительных приборов

Осветительным прибором (световым прибором) называют устройство, содержащее источник света ИС (лампу) и светотехническую арматуру и предназначенное для освещения или световой сигнализации. Светотехническая арматура (осветительная арматура) перераспределяет свет ИС в пространстве или преобразует его свойства (изменяет спектральный состав излучения или поляризует его). Наряду с этим СП выполняет функции механической и погодной защиты, обеспечивает крепление ИС и подключение его к источнику питания.

Классификация СП по главным и дополнительным признакам:
– по главным признакам:

1) основная светотехническая функция – СП разделены на приборы для освещения (осветительные приборы ОП) и приборы для световой сигнализации (светосигнальные приборы ССП);

2) характер светораспределения – СП подразделяются на светильники, прожекторы и проекторы.

Светильник – это СП, перераспределяющий свет ламп внутри больших телесных углов (до 4π) и обеспечивающий угловую концентрацию светового потока с коэффициентом усиления не более 30 для круглосимметричных и не более 15 для симметричных приборов. Светильники освещают близко расположенные объекты. Расстояние меньше 20-кратного размера светильника. Светотехническая арматура газоразрядных ламп обычно включает в себя и ПРА.

Прожектор – СП, перераспределяющий свет лампы внутри малых телесных углов и обеспечивающий угловую концентрацию светового потока с коэффициентом усиления ≥ 30 для круглосимметричных и > 15 для симметричных приборов. Прожекторы служат для освещения удаленных объектов. Расстояние в тысячи раз превышает размеры прожектора.

Различают:

– *прожекторы общего назначения* (прожекторы заливающего света), предназначенные для длительного освещения рабочих поверхностей или открытых пространств, фасадов зданий и т.д.;

– *поисковые прожекторы* – прожекторы дальнего действия, предназначенные для кратковременного освещения сильно удаленных объектов с целью их поиска. По применению – зенитные, морские и другие прожекторы.

– *световые маяки* (аэродромные, морские, речные, навигационные и др.) осуществляют световую сигнализацию о расположении маяка.

Светофоры – используются для передачи световых сигналов, регулирующих движение транспорта и людей.

Фары – СП прожекторного типа, устанавливаемые на транспортных средствах для освещения дороги.

Проектор – СП, перераспределяющий свет лампы с концентрацией светового потока на поверхности малого размера или в малом объеме. Проекторы являются в основном осветительной частью светопроекционных приборов (экранные проекторы, технологические проекторы-концентраторы).

Экранные проекторы – подразделяются на эпископы, диаскопы и эпидиаскопы. Эпископ проецирует на экран свет, отраженный от поверхности объекта. Диаскоп проецирует на экран свет, прошедший через объект. Эпидиаскоп может работать как эпископ, так и как диаскоп.

Главные признаки классификации СП являются самостоятельными и независимыми.

– по дополнительным признакам СП различают:

1) по типу лампы, по конкретной светотехнической функции, форме фотометрического тела (симметричные, круглосимметричные и несимметричные СП);

2) классу светораспределения по ГОСТ 13828-74;

3) возможности перемещения при эксплуатации (стационарные, переносные и передвижные);

4) способу установки СП (по ГОСТ 16703-79);

5) классу защиты от поражения электрическим током (ГОСТ 12.2.007,13-75);

6) исполнению для работы в определенных условиях;

7) степени защиты от пыли и воды (ГОСТ 13828-74 и ГОСТ 14254-69);

8) способу питания лампы (сетевые, индивидуальный источник, комбинированное питание);

9) возможности изменения положения оптической системы;

10) возможности изменения светотехнических характеристик;

11) способу охлаждения (естественное или принудительное);

По исполнению для работы в определенных условиях СП подразделяются по следующим признакам:

1) климатическому исполнению и категории размещения (ГОСТ 15150-69);

2) температуре и относительной влажности воздуха (ГОСТ 16692-71);

3) механическим воздействиям (ГОСТ 16692-71);

4) особым факторам окружающей среды (ГОСТ 15150-69);

5) концентрации химических элементов;

6) взрывоопасности среды (ГОСТ 12.27020-76).

Световые комплексы (СК) – это устройства, состоящие из набора СП, отдельных оптических элементов, конструктивных, электротехнических или других деталей, сборочных единиц или блоков, собираемых у потребителя, выполняющих свои функции только в собранном виде и предназначенных для освещения или сигнализации.

Классификация СК подобна классификации СП, но по основному назначению различают:

- внутренние рекламно-информационные, для транспортных средств, светящие потолки, мнемосхемы, гирлянды, СК со щелевыми световодами;
- наружные рекламно-информационные, для транспортных средств, аэродромные гирлянды.

3.2. Светотехнические характеристики световых приборов

Важнейшей характеристикой СП является *светораспределение* – определяющее распределение его светового потока в пространстве, окружающем СП.

Прожекторы и светильники, используемые на относительно больших расстояниях от освещаемых объектов, во много раз превышающих размеры самих приборов, характеризуются *распределением силы света* – *пространственной плотностью светового потока*.

Светильники местного освещения, устанавливаемые на относительно небольших расстояниях от освещаемой поверхности, соизмеримых с размерами этих приборов, характеризуются *распределением освещенности* – *плотностью светового потока по поверхности*.

Светораспределение прожекторов и светильников общего освещения обуславливается формой фотометрического тела СП и описывается кривыми силы света (КСС). При этом *под фотометрическим телом СП* понимают *геометрическое место концов радиусов-векторов, выходящих из светового центра прибора, длина которых пропорциональна силе света прибора в соответствующем направлении, а кривой силы света называют кривую зависимости силы света СП от меридиональных и экваториальных углов, получаемую сечением фотометрического тела СП плоскостью*.

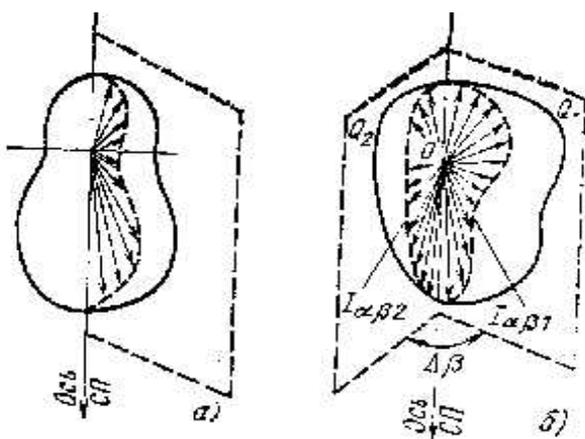


Рис. 24

светового центра прибора, длина которых пропорциональна силе света прибора в соответствующем направлении, а кривой силы света называют кривую зависимости силы света СП от меридиональных и экваториальных углов, получаемую сечением фотометрического тела СП плоскостью.

В зависимости от формы фотометрического тела СП подразделяются на симметричные (рис. 24,а), фотометрическое тело которых имеет ось симметрии (или плоскость сим-

метрии), и несимметричные (рис. 24,б), отличающиеся отсутствием симметрии фотометрического тела. К первой группе СП относятся круглосимметричные прожекторы и светильники, концентрирующие световой поток в конусе (рис. 25), а также светильники, направляющие световой поток достаточно равномерно в пределах всего окружающего пространства.

К симметричным приборам относятся, например, имеющие две плоскости симметрии светильники с линейными лампами и прожекторы с линейными лампами, концентрирующие световой поток в конусе, а также имеющие одну плоскость симметрии (светильники типа “Кососвет”).

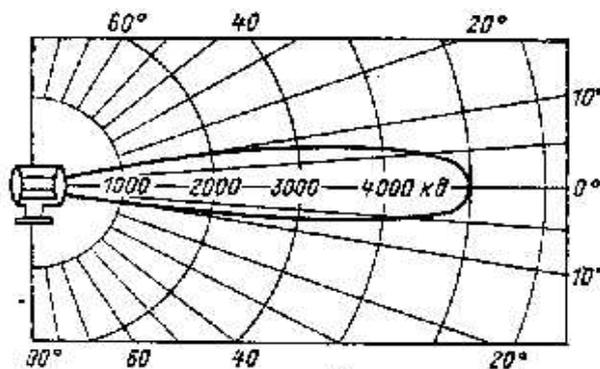


Рис. 25

Кривая силы света круглосимметричных прожекторов показана на рис. 25.

Для светильников с четко выраженным максимумом КСС часто применяют термин «коэффициент усиления $K_{y\alpha}$ », характеризующий усиление светильником силы света лампы в данном направлении.

При этом для круглосимметричных приборов $K_{y\alpha}$ определяется отношением силы света СП в данном направлении I_α к среднесферической силе света $I_{л0}$ круглосимметричной лампы:

$$K_{y\alpha} = I_\alpha / I_{л0} = I_\alpha 4\pi / \Phi_{л}.$$

Для симметричных СП с линейными лампами $K_{y\alpha} = I_\alpha / I_{ла}$, где $I_{ла}$ – сила света лампы в этом же направлении.

Как правило, под коэффициентами усиления понимают максимальные их значения для СП

$$K_{y \max} = I_{\max} / I_{л \max} \text{ – для СП с двумя плоскостями симметрии;}$$

$$K_{y \max} = I_{\max} 4\pi / \Phi_{л} \text{ – для симметричных СП.}$$

3.3. Нормированные кривые силы света

Для сравнения КСС СП, имеющих различное число, мощность и цветность ламп, эти кривые строят обычно для условной лампы со световым потоком, равным 1 000 лм (для многоламповых приборов 1 000 лм –

суммарный поток n ламп). Значение силы света СП с известными лампами, работающими в условиях данного прибора, получают умножением значений силы света, найденных из КСС, на фактический световой поток установленных в СП ламп (в килолюменах).

Светораспределение любого круглосимметричного СП можно провести по одной меридиальной КСС, а для симметричных СП необходимо иметь семейство меридиальных КСС для различных меридиальных плоскостей, число которых выбирается исходя из формы фотометрического тела.

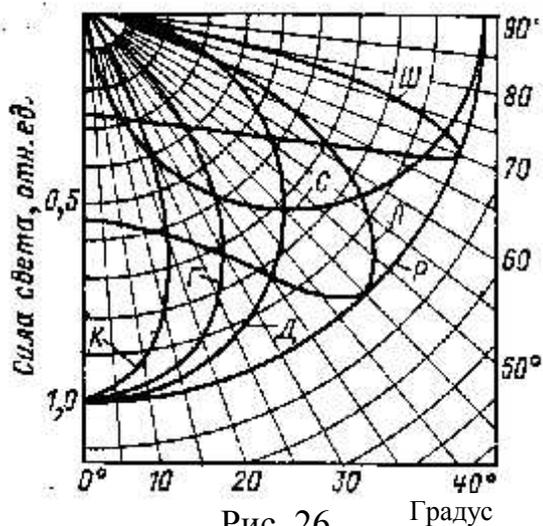


Рис. 26

Для СП с двумя плоскостями симметрии (для светильников с линейными лампами и прожекторов) обычно ограничиваются КСС только в двух главных плоскостях – продольной и поперечной (рис. 26). Однако часто необходимо знать КСС СП не только в нижней, но и в верхней полусфере пространства.

По светораспределению СП в зависимости от соотношения светового потока Φ_v , направляемого в нижнюю полусферу, и полного светового потока светильника $\Phi_{св}$ подразделяются на пять классов П, Н, Р, В, О (табл. 2).

КСС СП указанных классов в зависимости от формы КСС подразделяются на несколько типов К, Г, Д, Л, Ш, М, С (см. рис. 26).

Таблица 2

| Класс светильника по светораспределению | Характер распределения света | $\Phi_v / \Phi_{св}$, % |
|-----------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| П | Прямого света | Свыше 80 |
| Н | Преимущественно прямого света | 60 – 80 |
| Р | Рассеянного света | 40 – 60 |
| В | Преимущественно отраженного света | 20 – 40 |
| О | Отраженного света | 20 |

Коэффициент формы – это отношение максимальной силы света I_{max} в меридиональной плоскости к условному среднеарифметическому значению силы света $I_{ср}$, определенному для той же плоскости:

$$I_{\text{cp}} = \frac{1}{9} \sum_5^{85} I_{\alpha}, \text{ или } I_{\text{cp}} = \frac{1}{9} \sum_{175}^{95} I_{\alpha}.$$

Значение силы света I_{α} находится для углов 5, 15, 25, ... 85 ° для нижней полусферы и 175, 165, 155, ... 95 ° для верхней. Под I_0 и I_{min} понимаются соответственно значения силы света по оси светильника под углом $\alpha = 0$ и минимальное значение силы света.

Типы кривых силы света светильников приведены в табл. 3.

Таблица 3

| Тип КСС | Тип КСС в нижней и верхней полусферах | Зона возможных направлений максимальной силы света, град. | Значение коэффициента формы КСС K_{ϕ} | Приближенное математическое выражение КСС |
|---------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| К | Концентрированная | 0 – 15 | $K_{\phi} \geq 3$ | $I_{\alpha} = I_0 \cos n_{\alpha}$ |
| Г | Глубокая | 0 – 30, 180 – 150 | $2 \leq K_{\phi} \leq 3$ | $I_{\alpha} = I_0 \cos n_{\alpha}$ |
| Д | Косинусная | 0 – 35, 180 – 145 | $1,3 \leq K_{\phi} < 2$ | $I_{\alpha} = I_0 \cos \alpha$ |
| Л | Полуширокая | 35 – 55, 145 – 125 | $1,3 \leq K_{\phi}$ | $\frac{I_{\alpha} = I_0 \cdot \cos \alpha}{\cos(\Theta \sin^m \alpha)}$ |
| Ш | Широкая | 55 – 85, 125 – 95 | $1,3 \leq K_{\phi}$ | – |
| М | Равномерная | 0 – 90, 180 – 90 | $K_{\phi} \leq 1,3$, при этом $I_{\text{min}} \geq 0,71 \text{ max}$ | $I_{\alpha} = I_0$ |
| С | Синусная | 70 – 90, 110 – 90 | $K_{\phi} < 1,3$, при этом $I_0 < 0,71 \text{ max}$ | $I_{\alpha} = I_0 \sin \alpha$ |

Значения параметров для некоторых типов КСС приведены в табл. 4.

Таблица 4

| Параметр | Значение параметра для типа КСС | | | |
|-----------------|---------------------------------|------|-----|-----|
| | К | Г | Л | Ш |
| I_0 , кд | 2 400 | 800 | 155 | 90 |
| n | 2,91 | 1,65 | – | – |
| Θ , град | – | – | 70 | 85 |
| m | – | – | 1,2 | 1,5 |
| C | – | – | 1,7 | 1,2 |

В соответствии с классификацией каждому СП присваивается светотехническое наименование, которое образуется из наименований его класса по светораспределению и типа КСС. При этом в наименовании СП, как правило, указывается, для какой полусферы или меридиальной плоскости свойственна данная типовая КСС. В наименовании не указывается, для какой полусферы свойственна типовая кривая, если основной светотехнической характеристикой СП является его КСС в нижней полусфере. В наименовании СП с линейными лампами может приводиться только название типовой кривой в поперечной плоскости без указания на полусферу в том случае, если КСС в предельной плоскости является косинусной. Для СП с круглосимметричным светораспределением в наименовании не указывается меридиальная плоскость, для которой дана КСС. Допускается классификация СП только по классам светораспределения, если указания типа КСС нецелесообразно (светильники местного освещения, декоративные, бытовые).

Детализированные типовые КСС светильников и поля допусков на значение силы света ($\Phi_{cb} = 1\ 000$ лм) приведены в справочниках по светотехнике.

3.4. Нормирование осветительных установок

Уровень зрительных характеристик и психологическое восприятие окружения определяются яркостью как рабочих поверхностей, так и всего поля зрения, однако выбор яркости в качестве основной нормируемой величины нецелесообразен, так как в поле зрения одновременно находятся поверхности, имеющие самые различные коэффициенты яркости. Это привело бы к тому, что при чтении освещенность пришлось бы устанавливать в зависимости от качества бумаги, на которой отпечатана книга. Поэтому в мировой практике общепринятым является нормирование освещенности, значение которой устанавливается с учетом отражающих свойств рабочих поверхностей.

Нормирование освещенности определяется, с одной стороны, теми затратами, которых требует устройство и эксплуатация освещения, с другой – гигиеническим, производственным и экономическим эффектом, который достигается хорошим освещением.

В России нормы освещенности впервые установлены в 1928 г., разработаны они профессором П.М. Тиходеевым.

Диапазон освещенности, в пределах которого возможно чтение или работа, по зрительной сложности эквивалентная чтению, начинается с 0,1 лк. Однако при повышении освещенности условия зрительной работы будут улучшаться, снижается утомление. Настанет момент, начиная с которого утомление не будет превышать пределов, принятых за допустимые, и работоспособность будет восстанавливаться после отдыха. Такую освещенность можно назвать *гигиеническим минимумом*, и для чтения она определена П.М. Тиходеевым в 50 лк. С ростом освещенности улучшаются условия труда и так до момента, о котором можно сказать: меньшая освещенность хуже, но большая – уже не лучше, если не хуже. Такую освещенность можно назвать оптимальной, и ее несложно установить методом экспертных оценок или путем изучения производственно-гигиенических или физиологических показателей. Однако результаты будут зависеть от выбранных критериев оценки и не всегда дающих совпадающие результаты.

С экономической точки зрения оптимальное освещение приводит к увеличению производительности труда и снижению производственного травматизма. Переход от достаточного освещения к еще более лучшему, например от сотен люксов к тысячам, вызывает увеличение производительности труда в пределах от 5 до 20 %. При этом если расходы на амортизацию здания, отопление, вентиляцию, оплату административного персонала и т.д. остаются неизменными, то доля затрат по освещенности в себестоимости изделия уменьшается, хотя затраты на освещение увеличиваются, так как производительность труда растет медленнее, чем затраты на освещение. В аналогичной зависимости находится и получаемая предприятием масса прибыли, хотя условия, при которых достигается минимум себестоимости и максимум прибыли, не вполне совпадают.

Таким образом, можно говорить о степени зависимости производительности труда от освещения, в свою очередь, определяемой долей не полностью механизированных операций и степенью участия в них зрительного анализатора. При этом нормы, не будучи ни оптимальными, ни экономически наивыгоднейшими, лежат где-то между значениями минимума и оптимума.

Однако нормирование должно дифференцированно учитывать характеристики зрительного процесса. Такими характеристиками являются:

1. Точность работы, т.е. либо наименьший угловой размер различных деталей, либо их линейный размер в сочетании с расстоянием, с которого они рассматриваются.

2. Коэффициент отражения фона, на котором различаются детали, определяющий при данной освещенности его яркость.

3. Контраст между деталями и фоном.

4. Необходимость поиска деталей и наличие посторонних, отвлекающих деталей.

5. Подвижность рабочей поверхности, затрудняющая различение деталей.

6. Относительная длительность зрительного напряжения в течение рабочего времени.

Возможны и осуществляются две системы построения норм:

1) составление значений освещенностей для конкретно поименованных рабочих мест и помещений (*метод прямого нормирования*);

2) составление таблицы, в которой освещенность дается в функции признаков, характеризующих зрительный процесс, без указания конкретных рабочих мест (*метод косвенного нормирования*).

Нормы освещенности, действующие в России, построены по второй системе. В настоящее время действуют нормы освещенности СНиП 23-05-95. Эти нормы охватывают естественное и искусственное освещение промышленных предприятий, работ на открытом воздухе, общественных и жилых зданий, улиц, дорог и площадей населенных пунктов.

Нормы промышленного освещения построены на основе классификации работ по определенным количественным признакам. Ведущим признаком, определяющим разряд работ, является наименьший размер различных деталей, что при расчетном расстоянии до глаз 0,5 м определяет их угловой размер. При этих условиях работы делятся на восемь разрядов, каждый из которых разбит на четыре подраздела в зависимости от коэффициента отражения фона и контраста между деталями и фоном. Разряд VI подразделов не имеет.

Основные нормы СНиП относятся к установкам с газоразрядными источниками света, а при использовании ламп накаливания устанавливаются пониженные значения освещенности.

В последней редакции названного СНиП в практику нормирования и устройства осветительных установок внедряется термин «совмещенное освещение».

Совмещенное освещение – освещение, при котором недостаточное по нормам естественное освещение функционирует и в светлое время суток.

В нормах допускается предусматривать совмещенное освещение в производственных помещениях при выполнении зрительных работ по I и II разрядам.

Нормы запрещают применение совмещенного освещения для жилых комнат, помещений для пребывания детей, учетных помещений, палат лечебных и профилактических заведений и т.п.

Нормы как естественного, так и совмещенного освещения содержат требования к значению *коэффициента естественной освещенности (КЕО)* – это отношение естественной освещенности в данной точке помещения и в данный момент времени к освещенности в тот же момент под полностью открытым небосводом.

Поскольку поток источников света снижается к концу срока службы, то СНиП регламентирует значение коэффициента запаса $K = 1,3 - 2$ в зависимости от многих факторов.

Неравномерное распределение яркости в освещаемом пространстве (макрораспределение), оцениваемое коэффициентом неравномерности N , приводит к снижению контрастной чувствительности и сказывается отрицательно на зрительной работоспособности ЗР:

$$N = \Delta L_n / \Delta L - 1,$$

где ΔL_n – пороговая разность яркостей при неравномерном распределении яркости в поле зрения; ΔL – то же, но при явном ярком поле с яркостью, равной яркости центральной части поля зрения при неравномерном ее распределении.

Светящие поверхности (светильники, светящие потолки, панели, окна), обладающие высокой яркостью, расположенные на периферии поля зрения работающих, вызывают *ослепленность или ощущение дискомфорта* и так же снижают контрастную чувствительность и другие функции зрения. Этот качественный параметр оценивается *показателем ослепленности P* или *показателем дискомфорта M* .

Изменение светового потока во времени с частотой выше критической частоты мельканий приводит к повышению утомления и снижению ЗР. Этот параметр оценивается *коэффициентом пульсации освещенности K_n* .

3.5. Показатель ослепленности

Экспериментальные исследования показали, что производительность труда ПТ при наличии слепящего действия источника света снижается тем быстрее, чем выше разряд зрительных работ.

Относительное увеличение коэффициента ослепленности S замечено при уменьшении угла Θ блесклого источника. Кроме того, значение S увеличивается после работы больше при более точной выполняемой работе и при увеличении ее длительности.

Показатель ослепленности P определяется по формуле

$$P = \frac{ma \cdot 10^3}{L_{\text{ад}}} \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{I_{\gamma i} \cos \Theta_i}{l_i^2 \Theta_i^2} \right)^{3/2} \right]^{2/3},$$

где a – коэффициент, учитывающий спектр излучения блесклого источника; $I_{\gamma i}$ – сила света i -го блесклого источника по направлению к глазу наблюдателя, кд; l_i – расстояние от i -го блесклого источника до глаза наблюдателя, м.

3.6. Пульсация излучений

В промышленном освещении широко используются галогенные лампы ГЛ, световой поток которых пульсирует с удвоенной частотой питающего напряжения. Количественная оценка глубины пульсации ГЛ производится по коэффициенту пульсации $K_{\text{п.н}}$, который определяется по формуле:

$$K_{\text{п.н}} = \frac{\Phi_{\text{max}} - \Phi_{\text{min}}}{2\Phi_{\text{cp}}},$$

где Φ_{max} и Φ_{min} – максимальное и минимальное значение светового потока за период его колебаний, равный 0,02 с для сети промышленной частоты; Φ_{cp} – среднее значение светового потока за этот же период.

Глубина пульсации освещенности, регламентируемая в нормах, оценивается коэффициентом пульсации освещенности $K_{\text{п}}$:

$$K_{\text{п}} = \frac{E_{\text{max}} - E_{\text{min}}}{2E_{\text{cp}}},$$

где E_{max} , E_{min} и E_{cp} – соответственно максимальное, минимальное и среднее значение освещенности за период ее колебания, лк.

Значения $K_{\text{п}}$ осветительной установки неодинаковы в различных точках помещения, так как они зависят не только от $K_{\text{п.н}}$ источника света, используемого для освещения данного помещения.

3.7. Показатель дискомфорта

В качестве количественного критерия, определяющего слепящее действие осветительных установок общественных зданий, принят показатель дискомфорта M , для расчета которого используются эмпирические формулы:

$$\text{– от одиночного источника: } M = \frac{L_c \omega^{0,5}}{p L_{ад}^{0,5}},$$

где L_c – яркость блесклого источника; ω – телесный угол, в пределах которого находится блесклый источник, ср; $L_{ад}$ – яркость адаптации, кд/м²; p – индекс позиции дискомфортного пятна относительно линии зрения наблюдателя по Лекишу-Гату;

– от совокупности n источников:

$$M_{\Sigma} = \left[\sum_{i=1}^n M_i^2 \right]^{0,5}.$$

Контрольные вопросы и задания

1. Поясните, какие факторы учитывают при выборе величины минимальной освещенности.
2. Что понимается под пульсацией освещенности и светового потока? Назовите их количественные показатели, порядок определения и нормирования.
3. Как подразделяют освещаемые поверхности по контрасту и фону при установлении минимальной освещенности?
4. Что такое прямое и косвенное нормирование?
5. В чем суть нормирования КСС?
6. Что характеризуют показатели ослепленности и дискомфорта применительно к осветительным установкам?

4. СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

4.1. Требования к светотехническому расчету

Задачами светотехнического расчета осветительных установок (ОУ) в зависимости от назначения и нормативных требований к ним являются определение значения освещенности в характерных точках на горизонтально, вертикально или наклонно расположенных поверхностях ($E_{г}$, $E_{в}$, $E_{нк}$), среднего значения освещенности $E_{ср}$ или яркости L , а также контроль обеспечения качественных характеристик ОУ: цилиндрической освещенности $E_{ц}$, коэффициента пульсации $K_{п}$, показателя ослепленности P или показателя дискомфорта M . При необходимости указанные величины определяются с учетом многократных отражений света.

Целевая задача светотехнического расчета – такой выбор и размещение СП, при которых достижение нормируемых количественных и качественных параметров было бы обеспечено при минимальных затратах на сооружение и эксплуатацию установок.

Расчетам должен предшествовать этап, заканчивающийся выбором способа расчета. Решающим фактором может оказаться оценка возможности получения информации о показателях сравниваемых вариантов светотехнических решений при наименьших трудозатратах. Когда в сравнении нет необходимости и когда способ расчета не гарантирует повышения точности, выбор определяется доступностью способа, его простотой и навыками расчетчика.

На подготовительном этапе расчета необходимо:

- 1) установить нормируемые количественные и качественные параметры E , $K_{п}$, P и M для рассчитываемой установки;
- 2) провести анализ габаритно-планировочных параметров объектов расчета с выявлением расположения рабочих поверхностей и точек пространства, для которых соответственно приняты нормативы;
- 3) выявить объекты, которые могут оказывать затеняющее действие на освещаемые поверхности;
- 4) проанализировать оптические характеристики ограждающих поверхностей;

5) выявить направленно отражающие поверхности для соблюдения мер ограничения отраженной блескости;

б) установить временный режим электрического освещения как фактор, влияющий на выбор источника света;

7) определить требования к спектральным характеристикам источников света;

8) оценить действия многократных отражений:

а) определить коэффициенты отражения отражающих поверхностей с приближенной оценкой их роли в перераспределении светового потока ОП;

б) выявить отражающие характеристики локально расположенных у рабочих мест поверхностей и оценить их возможную роль в полезном перераспределении светового потока ОП местного или канализованного освещения;

в) оценить влияние оконных проемов или других мало отражающих свет поверхностей на перераспределение светового потока ОП;

9) провести оценку потерь светового потока:

а) установить категорийность среды в зоне возможного размещения ОП и в пространстве полезного распространения из светового потока;

б) определить допустимые для применения в данной установке ОП в соответствии с их классификационными характеристиками;

в) определить расчетное значение коэффициента запаса;

г) определить температуру окружающей среды вблизи возможного расположения ОП для уточнения ожидаемого изменения номинальных параметров светового потока газоразрядных источников света;

10) выбрать схему размещения осветительных приборов ОП и способ полного расчета:

а) оценить возможность подбора типовых решений и аналогов;

б) выбрать тип источников света;

в) при необходимости нетипового расположения ОП провести приближенную оценку необходимой мощности и числа ламп методом коэффициента использования (для общего освещения) или баланса прямых потоков (для локализованного освещения);

г) подобрать варианты для их последующего сравнения;

д) выбрать способ расчета и подобрать вспомогательные расчетные материалы.

4.2. Основные факторы влияния на точность и качество расчетов

При выполнении светотехнических расчетов их точность и качество определяется не только квалификацией расчетчика, но и рядом факторов, основные из которых перечислены ниже:

А. Независимые от способа расчета:

1. Отклонение светотехнических характеристик источников света от номинальных (допуск до $\pm 20\%$).

2. Отклонение значений КПД осветительных приборов и их КСС от каталожных (паспортных) данных.

3. Недостаточное количество в каталогах фотометрических характеристик осветительных приборов для правильной интерполяции значений сил света и зональных потоков.

4. Приближенность (условность) данных об оптических характеристиках поверхностей, влияющих на результаты расчета.

5. Неточность учета расположения расчетной поверхности (рабочих мест).

6. Неточность геометрических и оптических характеристик затеняющих объектов.

7. Колебания электрических параметров сети.

8. Неточность данных о характеристиках поглощающей среды, через которую распространяется свет.

9. Степень точности принимаемого для расчетов значения коэффициента запаса K_3 .

Б. Зависимые от способа расчета

1. Степень точности используемых методов интерполяции.

2. Степень точности представления КСС ОП при их аппроксимации формулой.

3. Размер шага в графиках, номограммах и таблицах, используемых в расчетах, и принятая точность при их представлении.

4. Полнота учитываемых способом факторов.

5. Учитываемая разрядность числовых значений.

6. Минимизация неравномерности распределения освещенности в пределах зон константности их нормируемого значения.

7. Степень точности определения угловых параметров, учитываемых в расчетах.

Все методы и способы светотехнических расчетов, основанные на лучевом представлении процесса распространения света, используют в своей основе векторное описание сил света излучателей.

Если размеры светящей поверхности ОП не превышают 0,2 расстояния до освещаемой точки, то этот ОП может представляться *точечным излучателем* и характеризоваться КСС. Если один из линейных размеров ОП превышает указанное значение, то излучатель рассматривается как *светящая линия*, каждый элемент которой описывается своими КСС в продольной и поперечной плоскостях. Когда размеры светящей поверхности соизмеримы с расстоянием до расчетной точки, эта поверхность характеризуется пространственным распределением излучения в каждой своей точке.

При расчете освещенности в точке поверхности применяется точечный метод, при котором вычисляется суммарная освещенность, определяемая значениями сил света всех точечных излучателей, освещающих эту точку.

При расчете по *методу коэффициента использования* (баланс световых потоков) ограничиваются таблицами коэффициентов использования, рассчитанными для КСС по расширенной классификации. Это означает, что этот метод наименее точен при расчетах систем общего освещения помещений.

При точных расчетах необходимо использовать расчеты зонального распределения потоков с учетом многократных отражений на базе аналитического описания КСС ОП.

4.3. Метод коэффициента использования

Поток Φ , создаваемый лампами светильника, частично теряется в светильнике, часть его падает на стены и потолок помещения. Поэтому на освещаемую поверхность (т.е. на горизонтальную плоскость, расположенную на уровне h_p от пола) от N светильников падает часть общего потока, называемого полезным потоком, $\Phi = N\Phi\eta$, где η – коэффициент использования, определяемый как отношение полезного потока ко всему потоку ламп.

Тогда средняя освещенность E_{cp} на площади S равна:

$$E_{cp} = N\Phi\eta/S.$$

Обычно расчеты ведутся на минимальную освещенность, которая в z раз меньше средней, т.е. $E_{min} = E_{cp}/z$, или $E_{min} = \frac{N\Phi\eta}{Sz}$, где z – коэффициент минимальной освещенности.

Поскольку нормированное освещение необходимо обеспечить во все время эксплуатации, то полученное значение минимальной освещенности необходимо разделить на коэффициент запаса. Тогда $E = \frac{N\Phi\eta}{SzK_3}$.

Откуда в зависимости от поставленной задачи можно получить:

- световой поток $\Phi = \frac{ESzK_3}{N\eta}$;
- число светильников $N = \frac{ESzK_3}{\Phi\eta}$.

Коэффициент минимальной освещенности z является функцией геометрических размеров помещения, коэффициента отражения его поверхностей, характеристики светильника и в наибольшей степени зависит от параметра $\lambda=L/\eta$, где L – расстояние между светильниками; $h = H - h_c - h_p = h_{\text{п}} - h_p$ – расчетная высота; H – высота помещения; h_c – расстояние светильников от затяжки ферм; h_p – высота рабочей поверхности над полом; $h_{\text{п}}$ – высота установки светильников над полом.

Точное определение коэффициента минимальной освещенности связано с такими трудностями, которые не оправдываются результатом, поэтому принимаем $z = 1,15$ при освещении светильниками, расположенными

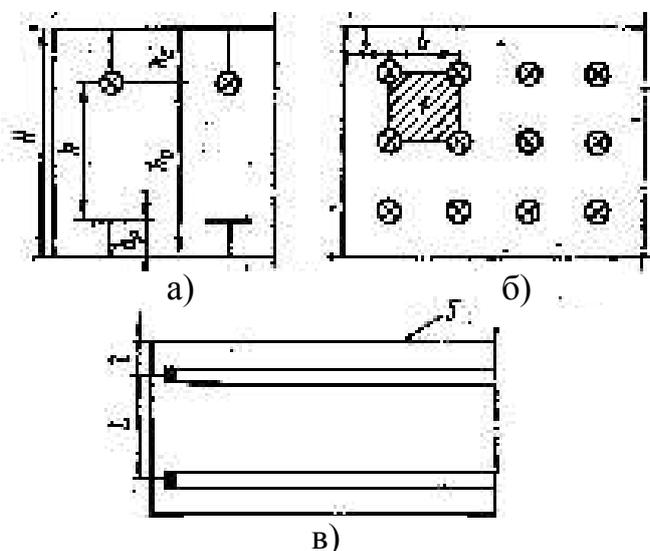


Рис. 27

по вершинам квадратных полей, и $z = 1,1$ при освещении линиями люминесцентных светильников. В установках отраженного света или хорошо отражающих стенах $z = 1$.

Схемы расположения светильников показаны на рис. 27.

Значение h_c выбирается от нуля (светильники на потолке) (рис. 27,а) до 1,5 м (светильники на фермах). При увеличении h_c необходим жесткий подвес светильников для предотвращения раскачивания потоками воздуха.

Расстояние $l = \frac{1}{2} L$ при наличии у стен проходов и $l = \frac{1}{3} L$ в остальных случаях. При необходимости выравнивания освещенности светового поля у стен делают $l = 0$ путем установки светильников на стенах и кронштейнах.

Наивыгоднейшая высота подвеса одиночного светильника, освещающего точку А горизонтальной поверхности, удаленную на расстояние d от проекции светильника на указанную поверхность, зависит от закона светораспределения светильника $I_\alpha = I_0 \cos^m \alpha$ (рис. 28).

Выражение для расчета освещенности E можно привести к виду:

$$E = \frac{I_\alpha \cos \alpha}{r^2} = \frac{I_0 \cos^{m+1} \alpha}{h^2 + d^2} = I_0 \frac{h^{m+1}}{(h^2 + d^2)^{\frac{m+3}{2}}}.$$

Определяя условие максимума E ($\frac{dE}{dh} = 0$), находим значение наивыгоднейшей высоты $h = d \sqrt{\frac{m+1}{2}}$.

При $m = 0$ имеем равномерное светораспределение и $h = \frac{d}{\sqrt{2}}$, при $m = 1$ – косинусное светораспределение и $h = d$.

Если светильники расположены по вершинам квадратных полей и рассматривается точка в центре поля, то $L = d\sqrt{2}$ и $h = L/2$ – для равномерного светораспределения и $h = L/\sqrt{2}$ – для косинусного.

При обобщенных расчетах выражение для освещенности целесообразно представить в виде тождества:

$$E = \frac{I_\alpha \cos^3 \alpha}{h^2} \equiv \frac{I_\alpha \cos^3 \alpha d^2}{h^2} \equiv \varepsilon \operatorname{tg}^{2\alpha}.$$

При этом множитель d^2 во второй дроби не влияет на максимум значения E ; $\varepsilon = I_\alpha \cos^3 \alpha$. Затем по кривой $\varepsilon \operatorname{tg}^2 \alpha = f(\operatorname{tg} \alpha)$ по положению ее максимума определим ее наивыгоднейшее значение $\operatorname{tg} \alpha = d/h$.

Для ответа на вопрос: какое расположение будет оптимальным, если $L = \operatorname{var}$ при $h = \operatorname{const}$ (для большинства практических случаев)? – введем понятие светотехнической экономичности светильника \mathcal{E}_c (рассматривается освещенность центральной точки поля):

$$\mathcal{E}_c \equiv EL^2 \equiv \frac{I_\alpha \cos^3 \alpha d^2}{h^2}.$$

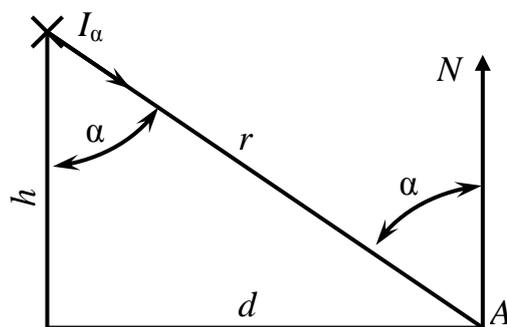


Рис. 28

Из приведенного выражения следует, что условия оптимума не зависят от того, какая величина, L или h , является переменной и подлежит выбору.

$$\text{С учетом изложенного, } \lambda_c = \frac{2}{\sqrt{m+1}}.$$

При освещении люминесцентными светильниками по схеме светящихся линий светотехническая экономичность принимается пропорциональной величине L , а КСС учитывается только в поперечной плоскости и выражение для λ_c остается неизменным.

Тогда при $m = 0$ (равномерное светораспределение) $\lambda_c = 2$;

при $m = 1$ (косинусное светораспределение) $\lambda_c = \sqrt{2}$.

При использовании ламп накаливания увеличение значения L приводит к увеличению мощности и росту световой отдачи ламп. При этом максимумы светотехнической энергетической экономичности не совпадают.

Так как световой поток ламп накаливания пропорционален их мощности $\Phi \equiv P^n$, где $n \cong 1,14$ при напряжении 220 В, то условие электрической экономичности \mathcal{E}_3 определяется максимумом функции

$$\mathcal{E}_3 \equiv \frac{I_\alpha \cos^3 \alpha}{h^2} L^{2n}.$$

Для конкретных светильников точка максимума может находиться построением функции $\mathcal{E}_3 = \text{ctg}^{2n} \alpha$, а решение задачи в общем виде дает результат

$$\lambda_3 = 2 \sqrt{\frac{n}{m+3-2n}}.$$

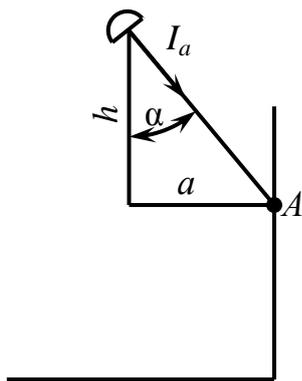


Рис. 29

При $m = 0$ (равновесие светораспределения) $\lambda_3 = 2,5$;
 $m = 1$ (косинусное светораспределение) $\lambda_3 = 1,6$, что в обоих случаях превышает значение λ_c .

При освещении вертикальной поверхности светильником, подвешенным на высоте h над уровнем, на котором нормирована освещенность, определяется оптимальное значение d . С учётом изложенного выше и рис. 29 можно записать выражение для освещённости:

$$E = \frac{I_0 \cos^{m+3} \alpha \text{tg} \alpha}{h^2}.$$

Определение условий $\frac{dE}{d\alpha}$ приводит к результату $d = \frac{h}{\sqrt{m+2}}$.

В рассмотренном случае нередко светильники наклоняются так, чтобы осевая сила света была направлена в освещаемую точку A , тогда из выражения для E получим $d = h/2$ и $\alpha = 35^\circ$.

Если поверхность освещается целым рядом светильников, параллельным этой поверхности, при расстоянии между светильниками L , то

$$d = \sqrt{\frac{h^2 + L^2}{m+2}}.$$

Для экономической обоснованности выбора типа светильника в выражении для светового потока принимаем $\Phi = CP$, где C – световая отдача ламп, лм/Вт, P – мощность лампы, Вт, и, выражая площадь в виде $S = \lambda^2 h^2 N$, получим:

$$\Phi = \frac{EK_3 Sz}{N\eta} = CP = \frac{EK_3 h^2 \lambda^2 z}{\eta} \eta, \text{ откуда } P = EK_3 h^2 \frac{\lambda^2}{\eta C}.$$

С учетом удельной мощности осветительной установки $\omega = \frac{NP}{S}$ и выражения для расчет-

ной мощности лампы получим: $\omega = \frac{EK_3 z}{\eta C}$.

Характеризуя энергетическую экономичность величиной, обратной удельной мощности при единичной освещенности, получим $\Theta_9 = \frac{\eta C}{z}$.

Таким образом, основным фактором, определяющим экономичность светильника, является коэффициент использования η , который при заданных условиях зависит от КПД светильника и в наибольшей степени от формы его кривой силы света (КСС), т.е. необходимо выбирать светильник, предпочтительный в данных конкретных условиях.

Коэффициент использования η зависит от КПД светильника (пропорционально), от КСС светильника, от коэффициентов отражения потолков $\rho_{\text{п}}$, стен $\rho_{\text{с}}$, пола или расчетной плоскости $\rho_{\text{р}}$, от значения индекса помещения i .

Индекс помещения $i = \frac{S}{h(A+B)}$, где A и B – стороны помещения; S – его площадь; h – расчетная высота.

Обозначая $\alpha = A/B$, получим $i = \frac{\sqrt{S}}{h} \frac{\sqrt{\alpha}}{1 + \alpha}$.

Зависимость η от КПД и формы КСС учитывается тем, что для каждого светильника или для группы светильников с близкими характеристиками составляется отдельная таблица коэффициентов использования. При расчете значений η для этой таблицы принимается характерное для данного светильника значение λ , которым учитывается также зависимость от коэффициента отражения потолков.

Коэффициенты отражения оцениваются субъективно или предположительно, но во всех случаях точные значения их неизвестны, и в таблицах принимается шкала усредненных значений $\rho_c = \rho_n = 70 - 50 - 30 - 10 \%$, $\rho_p = 30 - 10 - 0 \%$. В таблицах приводятся обычно только наиболее вероятные их сочетания.

Пример 1

Дано помещение размерами: $A = 24$ м, $B = 12$ м, $H = 4,5$ м, $h_p = 0,8$ м; коэффициенты отражения: $\rho_n = 50 \%$, $\rho_c = 30 \%$, $\rho_p = 10 \%$. Требуется осветить это помещение светильниками "Астра" с лампами накаливания, создав освещенность $E = 50$ лк при $K = 1,3$.

Светильник "Астра" имеет кривую светораспределения типа Д, для которого можно принять $\lambda_c = 1,4$. Приняв $h_c = 0,5$ м, получим $h = 3,2$ м и $L = 3,2 \cdot 1,4 = 4,5$ м. Учитывая, что λ_s несколько больше, чем λ_c , размещаем светильники, как показано на рис. 30 (а – освещение помещений светильниками с лампами накаливания; б – с люминесцентными лампами), получив $N = 15$.

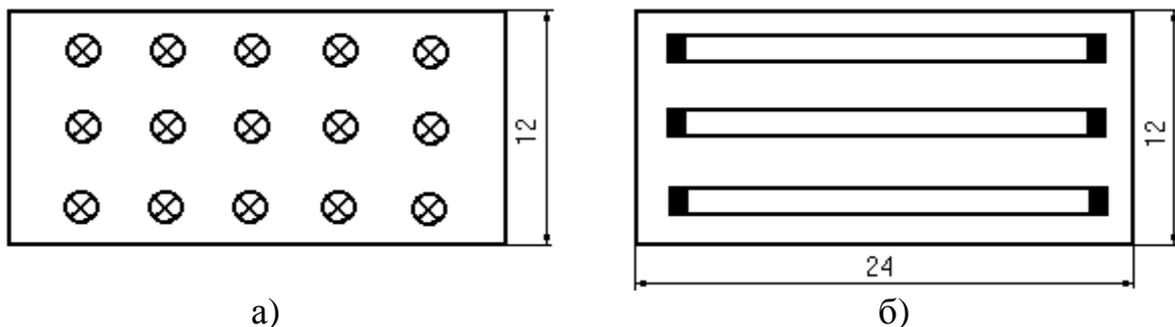


Рис. 30.

Находим $i = \frac{288}{3,2(24 + 12)} = 2,5$ и по табл. 5 определяем $\eta = 0,59$. При-

нимая $z = 1,15$, вычисляем потребный поток лампы:

$$\Phi = \frac{50 \cdot 1,3 \cdot 288 \cdot 1,15}{15 \cdot 0,59} = 2\,432 \text{ лм.}$$

Ближайшая стандартная лампа 200 Вт имеет $\Phi = 2\,800$ лм, что превышает расчетное значение на 15 %.

Если бы в том же примере нам требовалось получить освещение не 50, а 75 лк, то потребный поток лампы составил бы 3 648 лм. Поскольку светильник "Астра" пригоден только для ламп до 200 Вт, пришлось бы, задавшись потоком лампы мощностью 200 Вт, обратным приемом найти потребное число ламп, $N = 19,5$ практически разместить в три ряда 21 светильник.

Пример 2

В том же помещении требуется создать освещенность $E = 300$ лк при $K = 1,5$, используя люминесцентные лампы типа ЛБ в светильниках ЛДОР. Так как светильник имеет в поперечной плоскости кривую светораспределения типа Д, для которого $\lambda = 1,4$, размещаем светильники в три ряда.

При ранее найденном значении индекса (см. табл. 5) находим $\eta = 0,53$.

Определяем потребный поток ламп уже не в светильнике (число светильников пока не известно), а в каждом из рядов:

$$\Phi = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 288 \cdot 1,1}{3 \cdot 0,53} = 89\,660 \text{ лм.}$$

Если в светильнике по две лампы 40 Вт, с потоком 3 000 лм, то потребное число светильников будет $89\,600 : 6\,000 = 14,9 \approx 15$. При длине одного светильника 1,24 м их общая длина составит 18,6 м. Следовательно, между светильниками ряда могут быть оставлены небольшие разрывы, величину которых нетрудно рассчитать.

При использовании ламп 80 Вт ($\Phi = 5\,220$ лм) в ряду потребовалось бы разместить с округлением 9 светильников общей длиной 13,8 м. Разрывы между светильниками возросли бы, а общая мощность увеличилась бы с 3,6 до 4,3 кВт. Вариант с лампами 40 Вт представляется предпочтительным.

Если бы в условиях данного примера требовалось создать освещенность 500 лк, то при лампах 40 Вт требовалось бы 25 светильников в ряду, которые не вмещаются в длину помещения 24 м; вместе с тем это число недостаточно для устройства сдвоенных рядов. При лампах 80 Вт в этом случае необходимо иметь в каждом ряду 14 светильников, которые хорошо

размещаются. Можно было бы обойтись и лампами 40 Вт, но разместить светильники в четыре ряда по 19 шт. в каждом. В этом случае предпочтнее следует отдать лампам 80 Вт.

Таблица 5

| Значение коэффициентов отражения ρ_n, ρ_c, ρ_p при использовании светильников типа | Значение коэффициента использования $\eta, \%$, при значении индекса помещения i | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,25 | 1,5 | 1,75 | 2,0 | 2,25 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 |
| "Астра" | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 70;50;10 | 22 | 32 | 39 | 44 | 47 | 49 | 50 | 52 | 55 | 58 | 60 | 62 | 64 | 66 | 68 | 70 |
| 50;30;10 | 20 | 26 | 34 | 38 | 41 | 43 | 45 | 47 | 50 | 53 | 55 | 57 | 59 | 62 | 64 | 66 |
| 0;0;0 | 16 | 21 | 29 | 33 | 36 | 37 | 39 | 41 | 44 | 46 | 49 | 51 | 53 | 56 | 59 | 60 |
| УПД ДРЛ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 70;50;10 | 30 | 36 | 40 | 43 | 45 | 47 | 50 | 53 | 56 | 58 | 60 | 62 | 63 | 66 | 67 | 69 |
| 50;30;10 | 23 | 30 | 33 | 37 | 40 | 41 | 43 | 47 | 50 | 53 | 56 | 57 | 59 | 60 | 61 | 63 |
| 0;0;0; | 18 | 26 | 29 | 33 | 35 | 38 | 40 | 42 | 45 | 48 | 51 | 52 | 53 | 56 | 57 | 58 |
| ЛДОР | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 70;50;10 | 25 | 29 | 33 | 36 | 40 | 43 | 45 | 47 | 51 | 54 | 56 | 58 | 60 | 62 | 63 | 64 |
| 50;30;10 | 19 | 22 | 26 | 30 | 33 | 36 | 38 | 40 | 44 | 47 | 49 | 51 | 53 | 55 | 56 | 58 |
| 0;0;0 | 12 | 16 | 20 | 22 | 25 | 28 | 30 | 32 | 35 | 38 | 40 | 42 | 43 | 45 | 46 | 48 |

4.4. Расчет освещенности по удельной мощности

Используются таблицы удельной мощности, содержащие теоретическое значение удельной мощности, которое неизменно в пределах определенных интервалов высоты h и площади S . Границы интервалов выбраны с таким расчетом, чтобы от одного интервала к другому значение удельной мощности ω изменялось в среднем на 20 %. Употребительные интервалы высот: 1,5 – 2; 2 – 3; 3 – 4; 4 – 6; 6 – 8 м. Паспортными данными таблиц является тип светильника, а также значения $K_z, z, \rho_n, \rho_c, \rho_p$.

Для данного помещения при выбранной освещенности и типе светильника существует точное решение задачи освещения, если принять осуществимым любое, включая дробное, число светильников и любую, в пределах пригодности светильника мощность лампы. Но если выбрать число и мощность светильников так, чтобы фактическая удельная мощ-

ность была наибольшим возможным приближением к “теоретическому” значению, то задача решается с достаточной степенью точности с использованием таблиц.

Форма таблиц и методика их составления несколько различны для различных источников света.

Для ламп типа ДРЛ пренебрегают зависимостью световой отдачи от номинальной мощности ламп, тогда освещенность прямо пропорциональна удельной мощности и таблицы составляют для освещенности 100 лк с пропорциональным пересчетом в других случаях. При этом выбираются опорные значения по шкале индексов помещения: 0,5 – 0,9 – 1,1 – 1,5 – 2,0 – 3,0 – 4,0. Каждому индексу соответствует площадь $S = 4,35i^2h^2$, причем значение h принимается средним для интервала. Для каждого i по таблице находится η , и по формуле $\omega = \frac{EK_3z}{C\eta}$ вычисляется удельная мощность ω и строятся вспомогательные кривые $\omega = f(S)$, по которым просчитываются и заносятся в таблицы значения ω для середин принятых интервалов площади.

При использовании ламп накаливания нет прямой пропорциональной зависимости между освещенностью и удельной мощностью, поэтому значение ω необходимо рассчитывать для каждой освещенности отдельно. При этом для каждого сочетания h , S и E определяется ожидаемое число светильников и выбирается мощность лампы по специально настроенной кривой $\Phi = f(P)$, без округления до стандартных значений. Эта мощность принимается как наиболее вероятная для определения значения ω . Определение числа светильников N производится исходя из значения λ , рекомендованного для заданного светильника по следующей методике.

При размещении светильников по вершинам квадратов со стороной $L = \lambda h$ площадь поля составит $\lambda^2 h^2$ и приближенно $N = S/\lambda^2 h^2$. Так как крайние светильники расположены от стены на расстоянии $l = \frac{1}{3}L$, то более точно $N = \left(\frac{\sqrt{S}}{\lambda h} + 0,3 \right)^2$, или $N = \left(2,1 \frac{i}{\lambda} + 0,3 \right)^2$.

Таким образом, методика расчета ω для ламп накаливания для каждого интервала высот и значений освещенности аналогична методике для ламп ДРЛ, т.е. выбираются опорные значения i и находятся значения S и η ,

$$N = \left(\frac{\sqrt{S}}{\lambda h} + 0,3 \right)^2, \text{ или } N = \left(2,1 \frac{i}{\lambda} + 0,3 \right)^2.$$

Таким образом, методика расчета ω для ламп накаливания для каждого интервала высот и значений освещенности аналогична методике для ламп ДРЛ, т.е. выбираются опорные значения i и находятся значения S и η ,

затем определяется N по приведенной выше формуле, причем его значения округляются до ближайшего целого. Потребный поток лампы находится по формуле: $\Phi = ESzK_3/N\eta$, а ее мощность – по кривой $\Phi = f(P)$. Удельная мощность вычисляется по формуле $\omega = NP/S$, затем строятся графики $\omega = f(S)$ и находится среднее значение ω для каждого интервала площадей. В случае если $\Phi > \Phi_{\text{д}}$ лампы наибольшей мощности, на которую рассчитан светильник, то значение ω определяется по формуле

$$\omega = \frac{EK_3z}{C\eta},$$

в которую подставляется значение C для наибольшей возможной мощности ламп.

На практике при расчете освещения по удельной мощности задаются всеми параметрами установки и числом светильников N , по таблице находят ω и выбирают мощность лампы, ближайшую к определяемой из выражения $\omega S/N$. Менее желательно задаваться значением P и находить N .

4.5. Расчет освещенности по условной мощности

Точность расчета рассмотренного выше метода гарантируется только в том случае, если все параметры соответствуют параметрам, принятым при составлении таблицы.

Для устранения этого недостатка введем понятие условной удельной мощности ω' , рассчитанной для освещенности 100 лк и световой отдачи 10 лм/Вт. Произведение этой величины на площадь назовем полной условной мощностью Π :

$$\Pi = \frac{EK_3zS}{C\eta} = \frac{10K_3zS}{\eta}.$$

Задаваясь несколькими характерными значениями h и опорной шкалой индексов помещения, определяем площадь по формуле $S = 4,35i^2h^2$, а значение коэффициента использования η берем из таблицы, после чего вычисляем значение Π и переносим их на график $\Pi = f(S)$.

Полная мощность $P_{\text{пол}} = PN$ должна равняться значению Π , повторно рассчитанному с учетом освещенности и световой отдачи:

$$PN = \Pi \frac{10}{C} \frac{E}{\omega_0} \quad \text{или} \quad \Phi N = \frac{\Pi E}{10}, \quad \text{так как} \quad PC = \Phi.$$

Вводя обозначение $K = 10 \frac{\Phi}{E}$, получим $KN = \Pi$, где значение K определяется лишь световым потоком лампы накаливания и нормой освещенности и может быть представлено в таблице $K = f(E)$ при заданной условной мощности Π . Расчеты приводятся при наличии графиков $\Pi = f(S)$.

Пример 3

Решим с помощью табл. 6 пример 1. При заданных высоте, площади и освещенности находим в табл. 6 $\omega = 9,5 \text{ Вт/м}^2$ и определяем мощность лампы P :

$$P = \frac{288 \cdot 9,5}{15} = 182 \approx 200 \text{ Вт.}$$

Как и при "точечном" расчете, оказалась выбранной такая же лампа и так же с некоторым избытком мощности.

Таблица 6

| Расчетная высота h , м | Площадь помещения S , м ² | Удельная мощность, Вт/м ² , при освещенности, лк | | | | | | |
|--------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----|------|------|------|------|------|
| | | 5 | 10 | 20 | 30 | 50 | 75 | 100 |
| 3 – 4 | 10 – 15 | 3,6 | 6,1 | 12,3 | 16,4 | 25 | 35,8 | 45,8 |
| | 15 – 20 | 2,9 | 4,9 | 9,1 | 12,9 | 21,4 | 28,7 | 38,8 |
| | 20 – 30 | 2,4 | 4 | 7,3 | 10,6 | 17,4 | 23,2 | 31 |
| | 30 – 50 | 1,9 | 3,3 | 5,8 | 8,5 | 13,4 | 18,8 | 24 |
| | 50 – 120 | 1,6 | 2,8 | 4,8 | 7,3 | 11,3 | 15,6 | 19,9 |
| | 120 – 300 | 1,3 | 2,3 | 4,1 | 6,1 | 9,5 | 13 | 16,7 |
| | 300 | 1,1 | 1,9 | 3,6 | 5,3 | 8,2 | 11 | 14,6 |
| 4 – 6 | 10 – 17 | 5 | 9,3 | 20,4 | 25,5 | 32,8 | 50 | 66,6 |
| | 17 – 25 | 3,7 | 7,1 | 14,6 | 19,3 | 26,9 | 41,6 | 55,5 |
| | 25 – 35 | 2,7 | 5,1 | 9,7 | 13,1 | 20,4 | 31,7 | 42,3 |
| | 35 – 50 | 2,2 | 3,8 | 7,5 | 10,4 | 16,2 | 24,2 | 32,2 |
| | 50 – 80 | 1,8 | 3,1 | 5,9 | 8,4 | 12,9 | 19 | 25,3 |
| | 80 – 150 | 1,5 | 2,6 | 5,0 | 7,0 | 10,6 | 15,6 | 20,8 |
| | 150 – 400 | 1,2 | 2,2 | 4,2 | 5,9 | 9 | 13,4 | 17,8 |
| | 400 | 1 | 1,8 | 3,4 | 4,9 | 7,4 | 10,9 | 14,5 |

Примечание. Таблица составлена для значений: $\rho_n = 50 \%$, $\rho_c = 30 \%$, $\rho_p = 10 \%$, $K = 1,3$, $z = 1,15$.

4.6. Точечный метод расчета освещенности

Освещенность любой точки поверхности, создаваемую светильником с известными параметрами (светораспределением, световым потоком лампы и геометрическими характеристиками, определяющими расположение светильника) и точечными излучателями (лампы накаливания, лампы ДРЛ, ДРП и ДНаТ), определяется при помощи трех видов графиков, составленных для светильников с условным потоком лампы (или нескольких ламп суммарно) 1 000 лм, освещающих горизонтальную поверхность.

А) *Кривые относительной освещенности* (Р.А. Сапожников)

ОСВЕЩЕННОСТЬ точки *A* горизонтальной поверхности (рис. 31) определяется по формуле

$$E = \frac{I_{\alpha} \cos^3 \alpha}{h^2}.$$

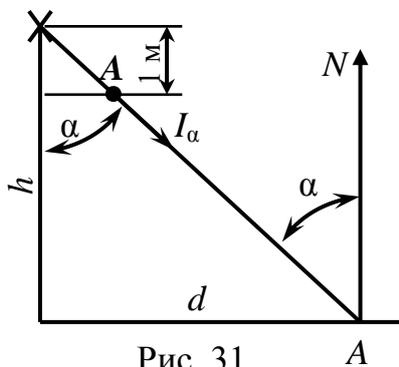


Рис. 31

Полагаем, что сила света I_{α} задана для условной лампы со световым потоком 1 000 лм. Вводя понятие относительной освещенности ε как освещенности точки при $h = 1$ м, получим

$$\varepsilon = I_{\alpha} \cos^3 \alpha \text{ и } e_{1000} = \frac{\varepsilon}{h^2} \text{ (замена } E \text{ на } e_{1000}, \text{ чтобы}$$

подчеркнуть условия).

Относительную освещенность удобно изображать кривыми в функции отношения $\frac{d}{h} = \operatorname{tg} \alpha$, что соответствует абсциссе точки *A* на рис. 31, как это показано на рис. 32.

Переход от графика относительной освещенности к освещенности данной конкретной поверхности осуществляется в соответствии с формулой

$$e_{1000} = \frac{\varepsilon}{h^2}.$$

Если требуется найти освещенность

для лампы с потоком $\Phi \neq 1\,000$ лм, то дополнительно вводится множитель $\Phi \cdot 10^{-3}$, тогда

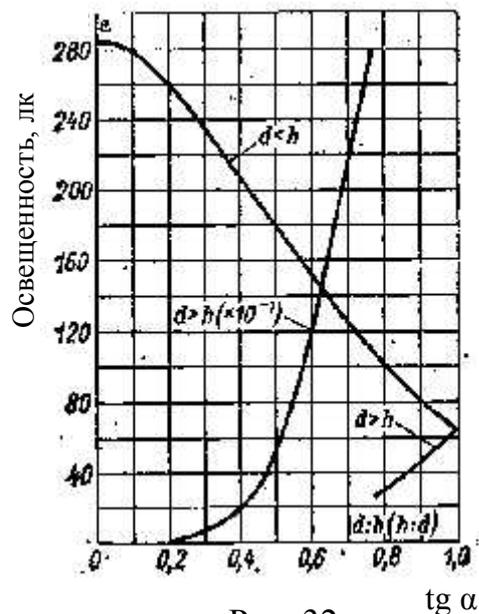


Рис. 32

$$E = \frac{\Phi \varepsilon \cdot 10^{-3}}{h^2}.$$

Б) *Пространственные изолюксы уровней горизонтальной освещенности* (А.А. Труханов)

При использовании пространственных изолюкс не требуются операция деления на h^2 и определение аргумента $d:h$ или $h:d$ предыдущего случая, а условная освещенность $e_{1000} = e$ при заданном светораспределении является функцией параметров h и d и, следовательно, может быть изображена на плоскости семейством кривых или кривыми равных значений – изолюксами, построенными в координатной плоскости с параметрами d, h . При конечной силе света светильника для данного направления этой плоскости всегда можно найти точку с любым заданным значением l . Одной из координат этой точки является направление α , второй – высота h , определяемая по формуле $h = \sqrt{\varepsilon/e}$.

Для построения графика на заготовленной координатной сетке $d - h$ наносятся лучи направлений $0 - 5 - 15 -$ и т.д. градусов (при разных масштабах d и h лучи проводятся по значениям $\text{tg}\alpha$). Расположение точек изолюкс на каждом луче определяется по выражению $h = \sqrt{\varepsilon/e}$.

Значением e задаемся, а значение ε определяют как функциональную зависимость от $d/h = \text{tg}\alpha$. Полученные точки соединяют плавными кривыми (рис. 33).

При решении задач по значениям d и h на графиках изолюкс определяют значение l , после чего с учетом числа светильников умножают на отношение $\Phi \cdot 10^{-3}$ и находят значение E , т.е. $E = eN\Phi 10^{-3}$ (Φ – световой поток лампы данного типа – задан).

Графики изолюкс позволяют непосредственно судить о наиболее выгоднейшей высоте установки светильника при заданном значении d .

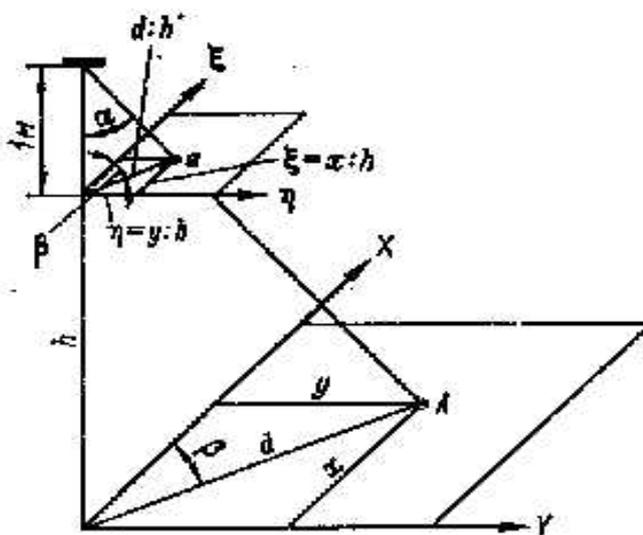


Рис. 33

В) Условные изолюксы (Г.М. Кнорринг)

Графики условных изолюксов предназначены для определения относительной освещенности от светильников с некруглосимметричным светораспределением, когда графики рис. 32 и рис. 33 неприменимы.

Для светильников с несимметричным светораспределением сила света определяется не только меридиональным углом α , но и азимутом β , поэтому освещенность точки A определяется уже не двумя, а тремя параметрами: h, x, y , или h, d, β (рис. 34).

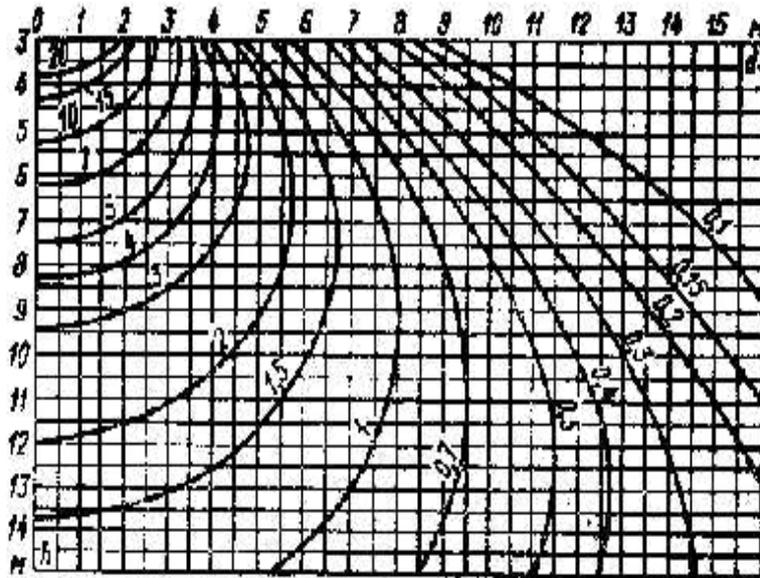


Рис. 34

Для расчетов удобно использовать график, показывающий распределение освещенности на условной плоскости, параллельной данной, но удаленной от светильника на 1 м, т.е. кривыми изолюксов относительной освещенности.

Точке A на действительной плоскости соответствует точка a на условной плоскости с координатами $\varepsilon = x/h$; $\eta = y/h$.

Для построения графика условных изолюксов необходимы данные о светораспределении светильника для нескольких меридиональных плоскостей, т.е. для нескольких β . Для каждого β строится обычная кривая относительной освещенности $\varepsilon = f(d/h)$, но без обращения аргумента при $d > h$. Например, построим графики для трех значений $\beta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ для целых значений ε (рис. 35,а).

Далее циркулем переносим значения абсцисс, соответствующие этим изолюксам, на координатную сетку $\varepsilon - \eta$ (рис. 35,б).

Переход от относительной освещенности к действительной осуществляется по формуле $E = \frac{\varepsilon \Phi \cdot 10^{-3}}{h^2}$.

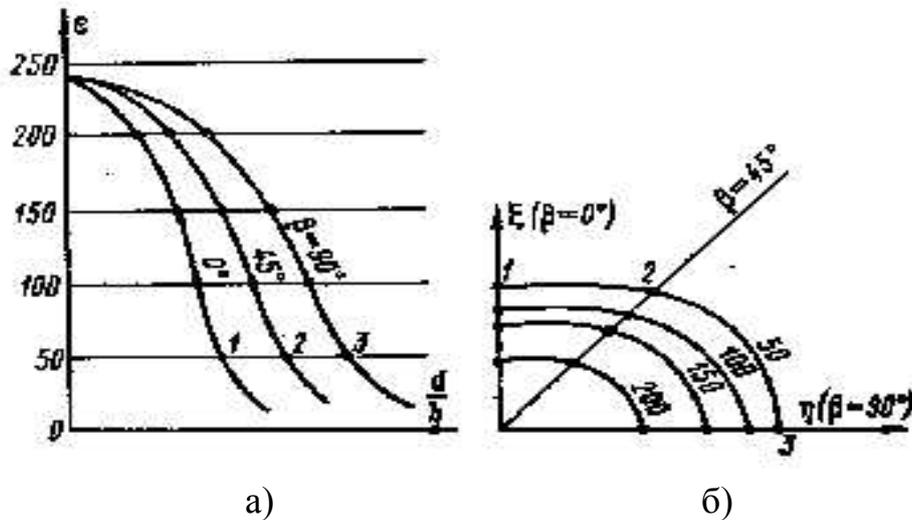


Рис. 35

4.7. Расчет освещенности на горизонтальной плоскости

Ставится задача обеспечения наименьшей освещенности при выбранном типе светильников, а также при их расположении: по вершинам квадрата (рис. 36,а), в две линии со сдвигом (рис. 36, б) и в линию (рис. 36,в) и известном коэффициенте запаса K_3 .

Расчет ведется для наихудшего случая, т.е. для точки, наименее освещенной в пределах поверхности, на которой должна быть обеспечена нормированная освещенность. Для этого измеряют по плану расстояние d от точки до проекции каждого светильника, по графикам пространственных изолукс находят значение e или ε и, суммируя их, определяют $\sum e$ или $\sum \varepsilon$.

Влияние удаленных светильников, не учтенных в данных суммах, а также света, отраженного от стен и потолков помещения, учитывается коэффициентом дополнительной освещенности μ . Тогда

$$\Phi = \frac{1000EK_3}{\mu \sum e} = \frac{1000EK_3 h^2}{\mu \sum \varepsilon}.$$

Для нахождения точки с минимальным значением $\sum e$ или $\sum \varepsilon$ определяется освещенность характерных точек А, Б (см. рис. 36). При общем рав-

номерном освещении крупных помещений основными контрольными точками являются центр углового поля и середина его длинной стороны.

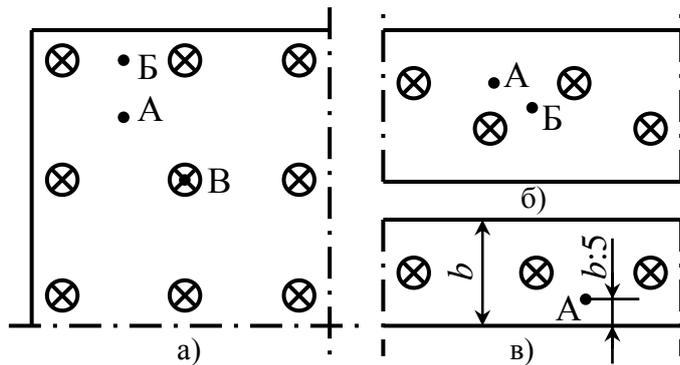


Рис. 36

Из-за сложности расчета точечного значения коэффициента дополнительной освещенности μ его обычно принимают в пределах от 1,0 до 1,2.

Под удаленными светильниками понимают такие, освещенность от которых в контрольной точке становится

меньше 5 % освещенности от одного из ближайших светильников.

4.8. Расчет освещенности на наклонной и вертикальной плоскостях

Освещение наклонных и вертикальных поверхностей может рассчитываться непосредственно, но, поскольку основные графики составляются для горизонтальных поверхностей, общепринято определять значение величин E , e или ε в данной контрольной точке, но в условно проведенный через нее горизонтальной плоскости и умножать полученное значение на переходный коэффициент ψ .

Значение ψ определяется из условия, что освещенности в общей точке двух поверхностей относятся как кратчайшие расстояния от этих поверх-

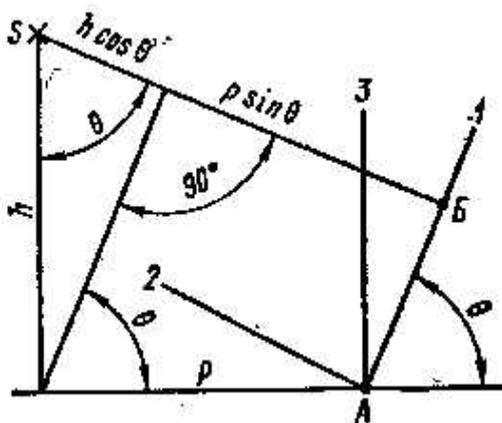


Рис. 37

ностей до светильника, причем большей является освещенность той поверхности, для которой указанное расстояние больше.

Для положения 1 наклонной поверхности кратчайшее расстояние до светильника $SB = h \cos \theta + p \sin \theta$ (рис. 37).

Для положения 2, характеризуемого тем, что из проекции светильника на горизонтальную плоскость не видна освещенная сторона наклонной плоскости,

$$SB = h \cos \theta - p \sin \theta.$$

Положение 3 соответствует освещению вертикальной поверхности.

Так как кратчайшее расстояние от светильника до горизонтальной плоскости есть h , то получаем $\psi = \cos\theta \pm \frac{p}{h} h \sin\theta$ (знак плюс относится к положению 1, знак минус – к 2).

Пример 4

Рассчитать горизонтальную освещенность дорожного покрытия консольными светильниками, установленными под углом $\theta = 15^\circ$ к горизонту на высоте $H = 10$ м над уровнем покрытия. Ширина проезжей части $b = 12$ м; расстояние между светильниками $L = 30$ м. Светильник типа ЖКУ-001-250 с лампой SON-E-250 (номинальный поток $\Phi_{л}=28\,000$ лм); коэффициент запаса $K_3 = 1,5$. КСС светильника аппроксимируется выражением

$$I_\lambda = \frac{260 \cos \lambda}{[\cos 75^\circ \sin^{1,5} 1,2 \lambda]}, \text{ где } \lambda = \arctg \frac{d_i}{H}.$$

Расчет приведем для типовых схем расположения светильников, показанных на рис. 38.

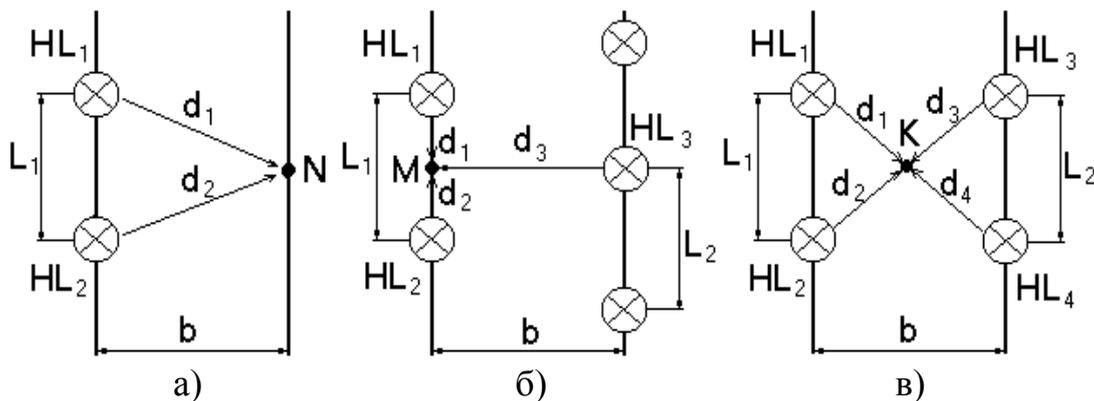


Рис. 38

На рис. 38 приняты обозначения:

d_i – расстояние по горизонтали от проекции i -го светильника до контрольной точки (в общем случае не равно геометрическому расстоянию из-за возможного наклона оптической оси светильника);

L_1 и L_2 – соответственно расстояния между светильниками с одной и другой стороны магистрали;

N, M, K – точки наихудшей освещенности магистрали.

Расчет начинают с вычисления кратчайшего расстояния от проекции i -го условного светильника d_i до контрольной точки и условной высоты установки светильника H_{1i} над плоскостью, повернутой на угол θ .

Для пояснения рассмотрим геометрические фигуры на рис. 39, где консольный светильник расположен в точке M , на высоте h над поверхностью магистрали с отклонением оптической оси светильника от вертикали на угол θ . Для расчета освещенности в точке A , через данную точку проводим наклонную плоскость под углом θ к горизонту.

Высота H_{1i} (рис. 39,а) определяется отрезком CM , а расстояние d_i отрезками CB и AB из рассмотрения треугольников рис. 39,б и 39,в.

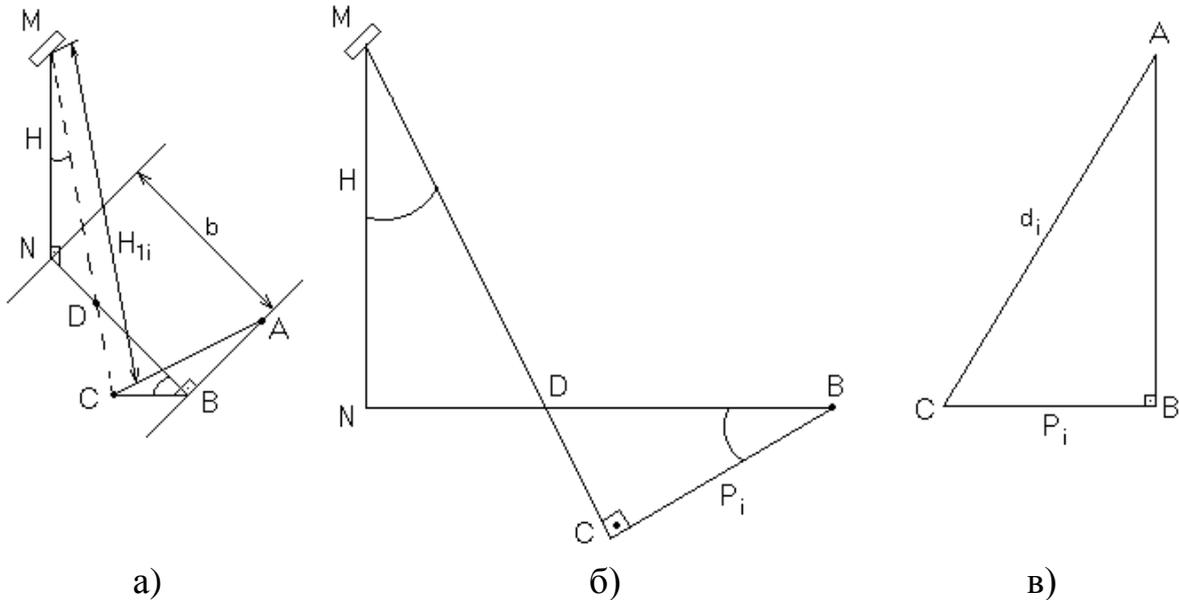


Рис. 39

Используя рис. 39,б, можно получить выражения для определения вспомогательных параметров P_i и H_{1i} для каждого конкретного светильника.

$$H_{1i} = b_1^{(i)} \sin \theta + H \cos \theta; \quad CB = P_i = b_1^{(i)} \cos \theta - H \sin \theta;$$

где: $b_1^{(1)} = b$; $b_1^{(2)} = \frac{b}{2}$; $b_1^{(3)} = 0$; $b_1^{(4)} = b$

соответственно при расположении контрольной точки по периметру прямоугольника, как это показано на рис. 40.

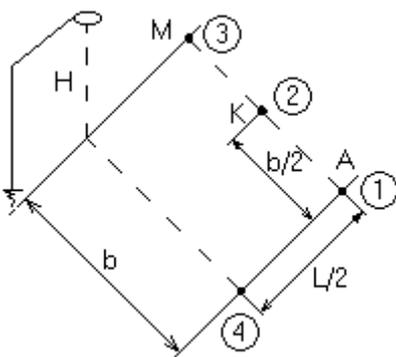


Рис. 40

Тогда из рис. 39,в следует: $d_i = \sqrt{AB^2 + P_i^2}$

или $d_i = \sqrt{(b_2)^2 + P_i^2}$, где $b_2 = 0$ при расположении

контрольной точки в точке 4 на рис. 40 и $b_2 = L/2$ во всех остальных случаях расположения контрольных точек на рис. 38 и рис. 40.

Относительную освещенность E_i каждого i -светильника для известных отношений d_i/H и H/H_{1i} определим по формуле

$$E_i = I_{\alpha_i} \cos^3 \left(\arctg \frac{d_i}{H} \right) \frac{H}{H_{1i}},$$

где I_{α_i} определяется по формуле приближенной аналитической аппроксимацией ККС для светильника, для вычисленного значения $\alpha_i = \arctg \frac{d_i}{H}$.

После этого вычисляем суммарную относительную освещенность всех учитываемых светильников для конкретной контрольной точки

$$\sum E = \sum_{i=1}^n E_i,$$

где n – число светильников ($n = 2$ для схемы рис. 38,а; $n = 3$ для схемы рис. 38,б и $n = 4$ для схемы рис. 38,в).

Вычисляем горизонтальную освещенность в контрольной точке по формуле

$$E = \frac{\Phi_{\text{л}} \sum \varepsilon}{1000KH^2},$$

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

K – коэффициент запаса (по ВСН и СНиП для газоразрядных ламп принимается равным 1,5).

Сравниваем полученные значения E_c с нормированным E_n , и если $E < E_n$, то следует уточнить световой поток лампы: $\Phi_{\text{л}} = \frac{E_n \cdot 1000KH^2}{\sum \varepsilon}$.

По результатам расчета выбирается лампа, значение светового потока которой близко к расчетному в пределах $-10 - +20 \%$.

Численные примеры расчета горизонтальной освещенности по изложенной выше методике для схем расположения светильников по рис. 38 приведены ниже.

1) Для схемы расположения светильников по рис. 38,а

$$P_{1,2} = b \cos \theta - H \sin \theta = 12 \cos 15^\circ - 10 \sin 15^\circ = 9,00292 \text{ м};$$

$$H_{1,2} = b \sin \theta + H \cos \theta = 12 \sin 15^\circ + 10 \cos 15^\circ = 12,765087 \text{ м};$$

$$d_{1,2} = \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + P_i^2} = \sqrt{15^2 + 9,00292^2} = 17,494358 \text{ м};$$

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = I_{2i} \cos^3 \left(\arctg \frac{d_i}{H} \right) \frac{H}{H_{1,2}} = I_{40^\circ} \cdot \cos \left(\arctg \frac{17,494358}{10} \right) \frac{10}{12,765087} =$$

$$= 310 \cdot \cos^3 (\arctg 1,7494358) 0,78338674 = 242,84989 \cdot \cos^3 60,247^\circ = 29,68 \text{ лк.}$$

$$\sum \varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = 59,36;$$

$$E = \frac{\Phi_{\text{л}} \sum \varepsilon}{1000KH^2} = \frac{28000 \cdot 59,36}{1000 \cdot 1,5 \cdot 100} = 11,08 \text{ лк.}$$

2) Для схемы расположения светильников по рис. 38,б

$$P_{1,2} = H \sin \theta = -10 \sin 15^\circ = -2,5881903 \text{ м;}$$

$$P_3 = b \cos \theta - H \sin \theta = 12 \cos 15^\circ - 10 \sin 15^\circ = 9,00292 \text{ м;}$$

$$H_3 = b \sin \theta + H \cos \theta = 12 \sin 15^\circ + 10 \cos 15^\circ = 12,765087 \text{ м;}$$

$$H_{1,2} = H \cos \theta = 10 \cos 15^\circ = 9,6592582 \text{ м.}$$

$$d_{1,2} = \sqrt{P_{1,2}^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2} = \sqrt{(-2,5881903)^2 + 15^2} = 15,221653 \text{ м;}$$

$$d_3 = \sqrt{P_3^2 + b_2^2} = 5,00292 \text{ м;}$$

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 335 \cos^3 56,7^\circ \frac{10}{9,659} = 57,39692 \text{ лк;}$$

$$\sum \varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 211,245 \text{ (лк);}$$

$$E = \frac{28000 \cdot 211,245}{1000 \cdot 1,5 \cdot 100} = 39,43 \text{ лк.}$$

3) Для схемы расположения светильников по схеме рис. 38,в

$$d_1 = d_2 = d_3 = d_4;$$

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = \frac{b}{2} \cos \theta - H \sin \theta = 6 \cos 15^\circ - 10 \sin 15^\circ = 3,2073646 \text{ м;}$$

$$H_1 = H_2 = H_3 = H_4 = \frac{b}{2} \sin \theta + H \cos \theta = 6 \sin 15^\circ + 10 \cos 15^\circ = 11,212172 \text{ м;}$$

$$d_1 = \sqrt{P_1^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2} = \sqrt{(3,207)^2 + (15)^2} = 15,339 \text{ (м);}$$

$$\arctg \frac{d_1}{H} = \arctg \frac{15,339}{10} = 56,9^\circ;$$

$$I_{56,9^\circ} = 380 \text{ кд;}$$

$$\varepsilon_1 = 360 \cos^3 56,9^\circ \frac{10}{11,212172} = 55,179 \text{ лк; } \sum \varepsilon = 4\varepsilon_1;$$

$$E = \frac{28000 \cdot 4 \cdot 55,16}{1000 \cdot 1,5 \cdot 100} = 41,213 \text{ лк.}$$

4.9. Расчет освещенности от светящей линии

Под светящей линией понимают излучатели длиной более 0,5 высоты их установки. Расположение светящей линии относительно контрольной точки A будем характеризовать размерами L, h, p (рис. 41). Первоначально задача решается для точки, расположенной против конца линии, затем результат распространяется на другие случаи.

Принимаем, что светораспределение в продольной плоскости подчиняется закону коснуса ($m = 1$), а в поперечной плоскости задано кривой $I_\gamma = f(\gamma)$ и что сила света с единицы длины линии составляет I' .

Тогда элемент линии dL в направлении к точке A имеет силу света $dI = I'_\gamma \cos \delta dL$, и так как $dL = \frac{rd\delta}{\cos \delta}$, получим $dI = I'_\gamma rd\delta$. Тогда с учетом, что

$\cos \alpha = h/r$ и $r^2 = \frac{h^2 + p^2}{\cos^2 \delta}$, находим освещенность, создаваемую элементом dL :

$$dE = \frac{dI \cos \alpha}{r^2} = \frac{I'_\gamma h \cos^2 \delta d\delta}{h^2 + p^2}.$$

Окончательно

$$E = \int_0^L dE = \frac{I'_\gamma \cos^2 \gamma}{2h} \left(\delta_L + \frac{\sin 2\delta_L}{2} \right).$$

Для светящих линий неограниченной длины $\delta_L \rightarrow 90^\circ$ выражение в скобках имеет предел $\pi/2$, т.е.

$$\lim_{\delta_L \rightarrow 90^\circ} \left(\delta_L + \frac{\sin 2\delta_L}{2} \right) = \pi/2.$$

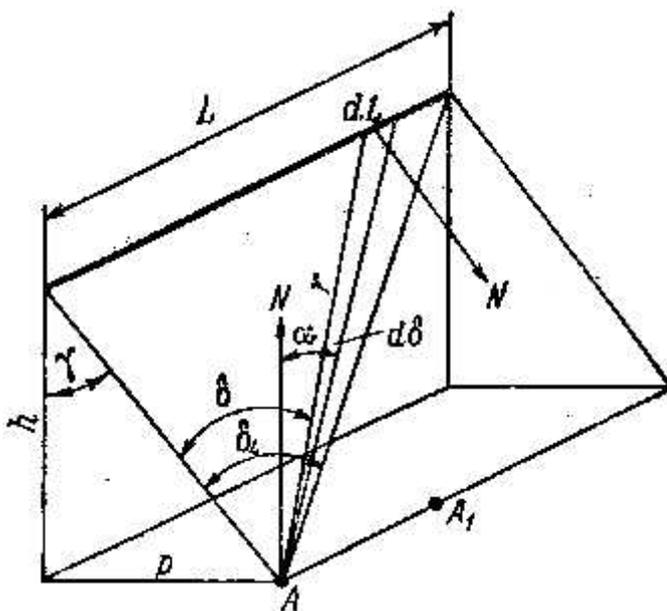


Рис. 41

Приближение к этому пределу происходит весьма быстро и при уже небольших значениях p линии, для которых $L > 3h$, практически могут рассматриваться как бесконечно длинные.

На практике заменяют δ , $\lim \delta$ и $\cos \gamma$ их выражениями через линейные размеры L, h, p , тогда

$$E = \frac{\Phi'}{1000} I_{\gamma} \frac{h}{2(h^2 + p^2)} \left[\frac{L\sqrt{h^2 + p^2}}{L^2 + h^2 + p^2} + \operatorname{arctg} \frac{L}{\sqrt{h^2 + p^2}} \right],$$

где $\Phi' = \frac{\Phi}{L}$ – удельный поток светящей линии, $I'_{\gamma} = \frac{I_{\gamma} \Phi}{1000L} = I_{\gamma} \Phi' \cdot 10^3$.

Для сокращения числа переменных в выражении для E введем приведенные размеры $L' = L/h$ и $p' = p/h$, тогда

$$E = \Phi' \cdot 10^{-3} I_{\gamma} \frac{1}{2(1 + p'^2)} \left[\frac{L'\sqrt{1 + p'^2}}{L'^2 + p'^2 + 1} + \operatorname{arctg} \frac{L'}{\sqrt{h^2 + p^2}} \right] = \Phi' \cdot 10^{-3} \frac{I_{\gamma}}{h} f(p', L').$$

Выражение $I_{\gamma} f(p', L')$ представляет собой освещенность, создаваемую линией $h = 1$ и $\Phi' = 1000$ лм/м, с полным основанием может считаться относительной освещенностью ε .

Таким образом, $E = \frac{\Phi' \varepsilon}{1000h}$, где $\varepsilon = I_{\gamma} f(p', L')$.

С учетом многих излучателей (светящих линий) можно получить рабочие формулы

$$\Phi' = \frac{1000EK_3h}{\mu \sum \varepsilon} \quad \text{и} \quad E = \frac{\Phi' \mu \sum \varepsilon}{1000K_3h}.$$

4.10. Прожекторное освещение

Расчет прожекторного освещения определяется его особенностями: наклонной установкой прожекторов и характером их светораспределения, в большинстве случаев некруглосимметричного и настолько концентрированного, что погрешность в определении направлений на $2 - 3^\circ$, вполне допустимая для светильников, здесь существенно искажает результат. Вследствие этого расчет прожекторного освещения является комплексной операцией, в процессе которой только и могут быть выбраны число и расположение прожекторов. Вспомним, что при расчетах осветительной уста-

новки со светильниками элементы выбираются до расчета и лишь корректируются по его результатам.

Для прожектора КСС строятся в прямоугольных, а не в полярных координатах, что позволяет выбрать более удобный угловой масштаб. Светораспределение задается в горизонтальной и вертикальной плоскостях, проходящих через оси прожектора. Однако при расчете значения силы света даются для номинального потока лампы, с которой используется прожектор.

В каталогах на прожектор указываются:

- осевая сила света прожектора;
- угол рассеивания 2α (это угол между двумя плоскостями, лежащими по разные стороны от оси, в которых сила света составляет 0,1 ее максимального (осевого) значения). Этот угол характеризует степень концентрации прожектором светового потока лампы;
- коэффициент полезного действия в пределах угла рассеивания;
- полный коэффициент полезного действия.

Рабочими характеристиками прожекторов при расчете освещения являются изолюксы на условной плоскостях $\xi = f(\eta)$, перпендикулярной оси прожектора и удаленной от него на 1 м (рис. 42), построенные для номинального светового потока лампы.

По этим кривым определяется относительная освещенность ε , значения которой условны в том отношении, что не соответствуют освещенностям, которые имели бы место на плоскости, удаленной от прожектора на 1 м, так как на расстоянии до 30 м освещенность от прожекторов не подчиняется закону квадратов расстояния.

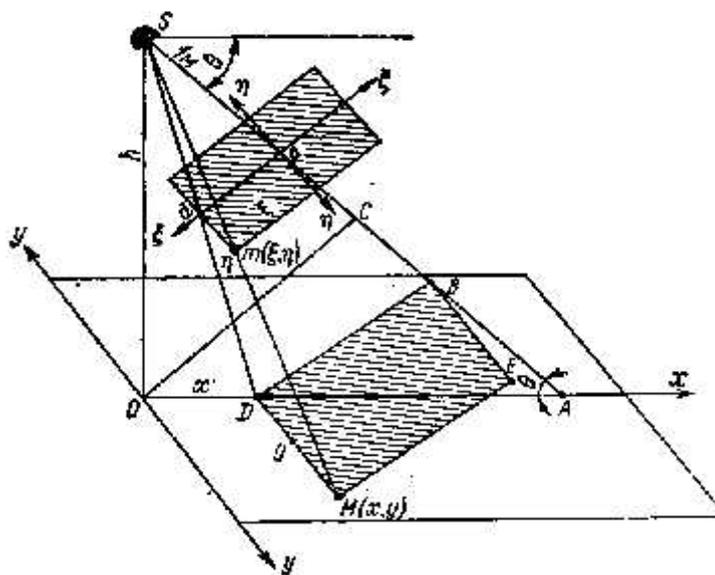


Рис. 42

Чаще всего прожекторное освещение рассчитывается на горизонтальную плоскость, при этом ожидается, что вертикальная освещенность будет не меньше горизонтальной.

При расчете определяется освещенность в точке $M(x,y)$ с заданными координатами при заданном расположении прожектора (заданы h и θ – высота и угол наклона оси). При этом ось x является проекцией оси ε , а оси y и η параллельны.

Расчетные формулы в этом случае имеют вид:

$$E = \frac{\varepsilon}{\rho^2 h^2} \text{ или } \varepsilon = E \rho^3 h^2;$$

$$y = \eta \rho h;$$

$$\varepsilon = \frac{\cos \theta - x' \sin \theta}{\rho};$$

$$\rho = \sin \theta + x' \cos \theta;$$

$$x' = \frac{x}{h}.$$

5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

5.1. Этапы и задачи проектирования

Различаются следующие стадии проектирования:

- технико-экономическое обоснование (ТЭО);
- технический проект (ТП);
- рабочие чертежи (РЧ);
- технорабочий проект (ТРП).

Если проект освещения выполняется отдельно вне комплекса всей проектной документации, то, как правило, он должен иметь одну стадию – ТРП.

В общем случае рекомендуется выполнить два этапа: ТЭО и ТРП, и только в очень сложных случаях – все четыре.

На этапе ТЭО в краткой пояснительной записке излагают основные положения, определяют общую мощность и приводят сметно-финансовый расчет.

Задача ТП – принятие основных решений и определение окончательной стоимости установки. В состав ТП входят:

- пояснительная записка;

- ведомость основных технических показателей;
- заявочная ведомость на электрооборудование, кабельные изделия и основные материалы;
- план-схема внутренней питающей сети и план внешней сети;
- основные строительные задания, смета.

В ведомости основных технических показателей указывают площадь помещения, преимущественную освещенность, преимущественный тип светильников, удельную и установленную мощность, число светильников общего и местного освещения, число контактных разъемных соединений, преимущественный род проводки.

Заявочные ведомости составляют укрупнено по общим характеристикам изделий, например светильники для взрывоопасных помещений, провода изолированные сечением от-до.

Смету составляют в полном объеме.

Однако для выполнения полноценного проекта освещения надо знать о проектируемом объекте буквально все: детальную планировку зданий по всем отметкам, включая разного рода площадки, подвалы; высоту помещений; особенности строительных конструкций; расположение технологического оборудования, вентиляции, водопровода, канализации и отопления; условия среды в помещениях, число рабочих и т.д.

Проектирование можно разделить на три части: светотехническую, электротехническую и составление схем и спецификаций.

Однако для конкретного помещения все вопросы решают комплексно. Так, выбирая светильники и размещая их, необходимо учитывать условие трассировки групповых сетей. В сетевой части начальным и ключевым является вопрос о размещении групповых щитков, затем komponуют и наносят на план все виды сетей и производят расчет их сечений.

В светотехнической части проекта проводят выбор нормируемых параметров и вида освещения, а именно:

- *рабочее* освещение обеспечивает необходимые условия во всех помещениях при нормальных режимах ОУ;
- *охранное* освещение – разновидность рабочего, устраивается по линии охраняемых границ территорий промышленных предприятий;
- *аварийное* обеспечивает минимально необходимые осветительные условия для продолжения работы при временном отсутствии рабочего освещения в помещениях;

– *эвакуационное* служит для безопасной эвакуации людей из помещения при аварийном погасании рабочего освещения.

Согласно СНиП аварийное освещение должно создавать освещенность не ниже 5 % нормируемой освещенности, но не менее 2 лк в помещениях и 1 лк снаружи; эвакуационное – не менее 0,5 лк в помещениях и 0,2 лк снаружи.

Для аварийного и эвакуационного освещения могут использоваться ЛН и ЛЛ.

Система освещения для помещений может быть *общей* и *комбинированной*, что определяется характером и особенностями зрительных работ.

При выборе источников средств руководствуются следующими соображениями:

1. Применять по возможности лампы наибольшей единичной мощности, не нарушая при этом нормативных требований к качеству освещения.

2. Для общего внутреннего и наружного освещения использовать преимущественно ГЛ.

3. При технической необходимости допускается применять в одном помещении ЛН и ГЛ.

4. Не допускается питание ГЛ постоянным током, переменным при его возможном снижении ниже уровня 90 % номинального.

5.2. Электротехническая часть проекта

Названная часть проекта выполняется в соответствии с правилами ПУЭ, при учете характеристик помещения и выборе электрооборудования по условию электробезопасности.

Напряжение питания осветительных установок производственных, общественных и жилых зданий, а также открытых пространств – преимущественно 380/220 В (номинал трансформаторов 400/231 В) при заземленной нейтрали.

Номинальное напряжение источников света общего освещения составляет 220 В (фазное системы 380/220 В) и допускается для светильников с ЛЛ во всех помещениях без ограничения высоты установки светильников, а для светильников с лампами других типов – в помещениях без повышенной опасности.

В помещениях с повышенной опасностью лампы ЛН, ДРЛ, ДРН, ДНаТ напряжением 220 В допускаются при высоте установки не менее 2,5 м (до

нижней точки светильника). При меньшей высоте установки применяют светильники, в которых для доступа к лампе необходимо применение инструмента.

При установке ЛН в помещениях с повышенной опасностью на высоте менее 2,5 м для питания светильников должно применяться напряжение не более 42 В.

Электрическая часть осветительной установки, схема которой показана на рис. 43, в общем случае может включать следующие элементы:

- 1 – трансформатор;
- 2 – щит низкого напряжения подстанции;
- 3 – линия питающей сети;
- 4 – вводный щит здания;
- 5 – магистральный щиток, устанавливаемый в местах разветвления питающей сети;
- 6 – групповой щиток, на котором установлены аппараты защиты или управления для групповых линий;
- 7 – линии групповой сети от групповых источников до источников света.

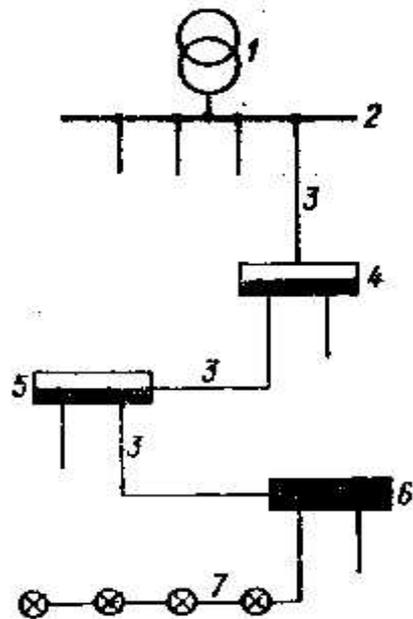


Рис. 43

Трансформатор, как правило, питает и основную сеть, и осветительную. Это выгодно из экономических соображений.

Так как число фидеров подстанции ограничено, то вблизи ее часто ставят щиты размножения или магистральные щитки, которые питаются одной мощной линией от щита подстанции и от которых отходит необходимое количество более мелких линий.



Рис. 44

Схемы питания разделяются на радиальные 1 и магистральные 2 (рис. 44). Чаще применяются магистральные, которые в многоэтажных зданиях представляют собой систему вертикальных линий – стояков – с подводкой питания к ним с преимущественно по первому или цокольному этажу.

5.3. Групповые сети

Групповые осветительные сети начинаются от групповых щитков, установленных в помещениях, удобных для обслуживания и с благоприятными условиями среды.

Правила устройства электроустановок (ПУЭ) ограничивают предельный ток аппаратов, защищающих групповые линии, значением 25 А, а число светильников с лампами накаливания ДРЛ, ДРН, ДНаТ, обслуживаемых группой, не более двадцати на фазу.

При питании группой газоразрядных ламп мощностью 125 Вт и более или ЛН мощностью 500 Вт и более ток аппаратов защиты может быть увеличен до 63 А.

Лампы мощностью 10 кВт и более должны питаться отдельными линиями и защищаться соответственно их току.

Для линий, питающих ЛЛ, допускается до 50 ламп на фазу, для линий, питающих многоламповые люстры, их число не ограничивается.

Групповые линии могут быть одно-, двух- или трехфазными. Трехфазные линии предпочтительней, так как они могут принять втрое большую нагрузку и обеспечить втрое больше светильников, чередование фаз позволяет уменьшить пульсации освещенности при использовании ламп ДРЛ, ДРН, ДНаТ. Кроме того, они более экономичны: 4 провода вместо 6 в трех однофазных сетях.

Лампы в сеть включаются по схеме “звезда ” и реже (если лампа на 380 В) – по схеме “треугольник”.

Наиболее часто распределение ламп между фазами в трехфазной группе производится по схеме, показанной на рис. 45.

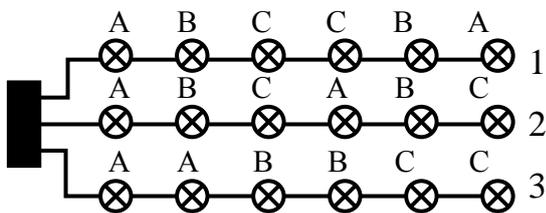


Рис. 45

Вариант 1 оптимален по потерям напряжения, но проигрывает по пульсациям освещенности. При отключении одной фазы распределение освещенности вдоль линий случайное.

Вариант 2 используется наиболее часто и по показателям лучше первого.

Вариант 3 – фактически это три однофазных группы с нулевым проводом.

Трассировка линий групповой сети подчинена целому ряду нормативных требований:

- линии должны прокладываться по возможно более коротким трассам: при открытой проводке параллельно стенам помещения, а при скрытой – по кратчайшему направлению;
- трассы линий одного направления необходимо совмещать;
- по возможности трассы линий прокладываются по стенам с минимальным числом переходов сквозь стену;
- линии, открыто проложенные по потолку, необходимо прокладывать перпендикулярно стене с окнами;
- в помещении с фермами линии групповой сети прокладываются поперек ферм, в виде перекидок между ними.

Аппараты защиты в групповой сети сосредотачиваются на групповых щитках и должны устанавливаться на всех незаземленных проводах, а также на нулевых проводах однофазных групп, обслуживающих взрывоопасные помещения.

5.4. Электрические осветительные сети

Эти сети являются наиболее распространенным видом инженерных коммуникаций, так как прокладываются во всех помещениях и к ним предъявляются следующие требования:

1. Обеспечивать бесперебойное и надежное электроснабжение ОУ в любых конкретных условиях среды.
2. Обладать достаточной прочностью и устойчивостью к возможным механическим воздействиям при относительной дешевизне сооружения с использованием недефицитных материалов.
3. Обеспечивать безопасность в случае пожара, взрыва и поражения электрическим током.
4. Допускать выполнение сетей промышленными методами, при которых максимум подготовительных и заготовочных работ может быть выполнен в условиях заводов или мастерских электроремонтных заготовок (МЭЗ).
5. По возможности допускать замену поврежденных или изношенных проводов в процессе эксплуатации.
6. По возможности быть наглядными, доступными для обслуживания и не портящими внешнего вида помещений.

Выполнение электрических осветительных сетей во всех деталях регламентируется нормативными документами (ПУЭ, СНиП, СН).

При выполнении сетей используют алюминиевые или медные проводники. В производственных зданиях преобладающее применение имеет открытая проводка, хотя в чистых цехах вполне уместна и скрытая.

В осветительных сетях применяют следующие провода и кабели:

– АПР – алюминиевый одножильный провод с резиновой изоляцией в оплотке из пропитанной хлопчато-бумажной ткани.

– АПВ – алюминиевый одножильный с поливинилхлоридной изоляцией.

– АПРТО – то же, что и АПР, с более надежной изоляцией, специально предназначен для проводки в стальных и других трубах.

– АПРО – (ранее АПТРФ, провод Куло) провод с 1 – 3 зажимами с резиновой изоляцией, в металлической фальцованной оболочке.

– АРТ – провод с 2 – 4 зажимами, с резиновой изоляцией, в конструкцию которого входит несущий трос.

– АППВ и АППВС – плоские провода с 2 – 3 зажимами, с поливинилхлоридной изоляцией (лапша), провод АППВС – для скрытой проводки.

– АНРГ, АВВГ, АВРГ – небронированные кабели с 2 – 5 зажимами, в марке которых буквы обозначают: Н – напритовая оболочка; Р – резиновая изоляция; В – поливинилхлоридная изоляция и оболочка. Провод АНРГ используют для сырых и особо сырых помещений; АВВГ и АВРГ – для помещений с химически активной средой.

– ПАЛ, РКГМ – нагревостойкие провода, применяемые в жарких помещениях.

В маркировке медных проводов отсутствует первая буква “А”.

5.5. Выбор сечения проводников по току нагрузки и защита осветительных сетей

Расчетная мощность осветительной сети определяется как установленная мощность, умноженная на коэффициент спроса, который учитывает, что даже в часы максимума могут работать все лампы. Для линий аварийного и наружного освещения коэффициент спроса равен единице, а для линий электросети – 0,8 – 1,0.

Установленная мощность определяется как сумма мощностей всех ламп, питаемых от сети основного напряжения, и номинальных мощностей трансформаторов 12 – 36 В. Дополнительно учитываются потери в ПРА

газоразрядных ламп: около 10 % от мощности ламп ДРЛ и ДРП, около 20 % от мощности люминесцентных ламп и около 30 % для тех же ламп при бесстартерных схемах.

Для административно-бытовых, измерительно-лабораторных и тому подобных корпусов дополнительно учитывается также мощность потерь на контактных соединениях из расчета 40 Вт на каждое.

При заданном максимуме нагрузки P (кВт) ток в фазовых проводах определяется по формулам:

– для трехфазных линий

$$I = \frac{1000P}{3U_{\phi} \cos\varphi} \approx 1,5 \frac{P}{\cos\varphi};$$

– для двухфазных сетей с нулевым проводом

$$I = \frac{1000P}{2U_{\phi} \cos\varphi} \approx 2,3 \frac{P}{\cos\varphi};$$

– для однофазных линий

$$I = \frac{1000P}{U \cos\varphi} \approx 4,5 \frac{P}{\cos\varphi}.$$

При протекании тока провода и кабели нагреваются. Допустимая температура нагрева 65 °С для проводов с резиновой и пластмассовой изоляцией.

Таблицы допустимых токовых нагрузок проводов и кабелей приводятся в ПУЭ и справочниках.

Для защиты осветительных линий применяют:

- плавкие предохранители;
- автоматические выключатели с тепловым расцепителем;
- автоматы с комбинированными расцепителями.

В групповых осветительных сетях применяются, как правило, автоматы, имеющие тепловые расцепители, в питающих сетях – автоматы с комбинированными расцепителями.

5.6. Расчет сетей по потере напряжения

Нормативные документы устанавливают необходимый уровень напряжения на лампе. Выбирая значение сечения проводников при заданном напряжении на входе сети и заданной нагрузке, можно обеспечить номинальное напряжение на лампе.

По нормам принимают фактическое напряжение холостого хода трансформатора равным номинальному, т.е. в системе 380/220 В равным 231 В между фазовыми и нулевыми проводами, что соответствует 105 % номинального значения напряжения ламп. В трансформаторе при нагрузке имеет место потеря напряжения ΔU_m , зависящая от его мощности, степени загрузки и коэффициента мощности. Если у ламп должно быть обеспечено напряжение не ниже $U_{л}$, то потеря напряжения в сети не должна превышать $\Delta U_c = U_{xx} - U_{л} - \Delta U_m$, где все значения выражены в процентах. Значение ΔU_c дается в справочниках, и если $U_{л} = 97,5 \%$, то $\Delta U_c = 4 - 6 \%$. Для сетей 42 В допускается $\Delta U_c = 10 \%$.

Термины «потеря напряжения» и «падение напряжения» различны. Если падение напряжения – это разность потенциалов между двумя точками одного проводника, то потеря напряжения – это численное уменьшение напряжения между двумя проводниками на протяжении определенного участка сети.

Потеря напряжения определяется проекцией вектора падения напряжения на направление вектора напряжения данной фазы.

Однофазная линия длиной L , начальным сопротивлением R Ом/м и X Ом/м, нагрузка, ток нагрузки I , коэффициент мощности нагрузки $\cos\varphi$, характеризуются векторной диаграммой рис. 46, на котором обозначены: вектор 01 – напряжение в начале линии; вектор 23, длина которого составляет

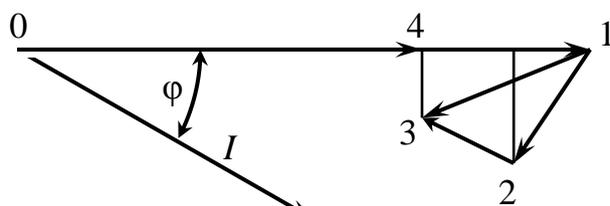


Рис. 46

$2LxI$ и который направлен параллельно вектору тока I , есть падение напряжения на активном сопротивлении; вектор 12 – падение напряжения на реактивном сопротивлении ($2LrI$); вектор 13 – полное падение напряжения, проекция которого на вектор входного напряжения 14 есть потеря напряжения, в результате этого к приемнику подводится напряжение 04.

Нетрудно убедиться, что длина вектора 41 равна $2IL(r\cos\varphi + x\sin\varphi)$. Относя это значение к сетевому напряжению U (в процентах), получим

$$\Delta U = \frac{200IL(r\cos\varphi + x\sin\varphi)}{U} \%$$

В трехфазной линии с равномерной нагрузкой фаз ток по нулевому проводу не протекает и поэтому для каждой из фаз

$$\Delta U = \frac{100IL(r \cos \varphi + x \sin \varphi)}{U_{\phi}}$$

При достаточно высоком коэффициенте мощности и известной мощности нагрузки (кВт):

– для однофазных линий $\Delta U = \frac{2 \cdot 10^{11} PL}{U^2 \gamma q} \%$;

– для трехфазных линий $\Delta U = \frac{10^{11} PL}{3U_{\phi}^2 \gamma q} \%$,

где γ – удельное сопротивление, Ом/м; q – сечение провода, мм².

Вводя понятие момента нагрузки $M = PL$ (кВт·м) и коэффициента $C = \frac{U^2 \gamma}{2 \cdot 10^{11}}$ или $C = \frac{3U_{\phi}^2 \gamma}{10^{11}}$, получим $\Delta U = \frac{M}{Cq} \%$.

Значение коэффициента C для алюминия для различных линий и напряжений даны в табл. 7.

Таблица 7

| Тип линии | Напряжение, В | C |
|-----------------|---------------|-------|
| Трехфазная | 380 – 220 | 44 |
| Две фазы и нуль | 380 – 220 | 19,5 |
| Однофазная | 20 | 7,4 |
| | 36 | 0,198 |
| | 24 | 0,088 |
| | 12 | 0,022 |

Для линий с несколькими нагрузками общий момент определяется как сумма нагрузочных моментов отдельных участков (длина каждого участка умножается на мощность, передаваемую по этому участку).

Пример 5

Четырехпроводная линия напряжением 380/220 В, схема которой показана на рис. 47, имеет алюминиевые проводники и питает щитки № 1 и № 2. Потеря напряжения для щитка № 2 не должна превышать 2,2 %.

Момент нагрузки:

– первого участка $M_1 = L_1 (P_1 + P_2) = 140(17 + 10) = 3\,780$ кВт·м;

– второго $M_2 = L_2 P_2 = 60 \cdot 10 = 600$ кВт·м.

Суммарный момент $M = M_1 + M_2 = 3\,780 + 600 = 4\,380$ кВт·м.

По таблице из справочника определяем, что ближайшее большее сечение составляет 50 мм².

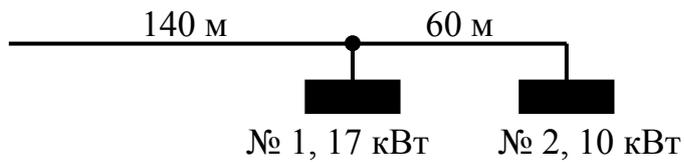


Рис. 47

Однако это сечение можно применять только до щитка № 1, и при моменте нагрузки $M_1 = 3\,780$ кВт·м потеря напряжения составляет 1,7 %, а

линию до щитка № 2 можно рассчитать на оставшиеся 0,5 %. Тогда при $M_2 = 600$ кВт·м получим $q = 25$ мм².

При выполнении отдельных участков сети проводниками разного сечения возникает задача наиболее экономичного распределения потерь напряжения между отдельными звеньями сети или определения минимальной суммарной затраты проводникового материала. В этом случае для участков питающей сети отдельно определяют моменты нагрузки M_i и m_i – для линий групповой сети.

Каждый участок рассчитывается по суммарному моменту его и всех последующих по направлению тока участков и исходя из полной допустимой потери напряжения ΔU , т.е. $M = \sum M_i + \sum \alpha m_i$, где $\alpha = 1,85$ при трехфазной питающей сети и однофазной нагрузке (при трехфазной нагрузке $\alpha = 1$).

Реактивное сопротивление проводов линии необходимо учитывать согласно СН-357-77 при $\cos\varphi \approx 0,9$ при проводке проводами начиная от сечения 95 мм² и при $\cos\varphi = 0,5 - 0,6$, начиная от сечения 25 мм² или 10 мм² – для медных проводов.

Контрольные вопросы и задания

1. Каково назначение аварийного и эвакуационного освещения? Перечислите способы их выполнения и основные требования к выполнению.
2. Поясните, в чем состоят особенности электрического расчета осветительных сетей.
3. Как учитывают пусковые токи ламп при выборе установок электрических аппаратов в осветительных сетях?
4. Объясните назначение и приведите классификацию проводов и кабелей, используемых в осветительных сетях.
5. Какие Вы знаете технические средства ограничения и стабилизации напряжения в осветительных установках? Назовите их основные характеристики и области применения.

6. Какие системы освещения применяют в промышленных установках?
7. Как производится расчет общего освещения по методу коэффициента использования светового потока?
8. Объясните, в чем суть точечного метода расчета освещенности.
9. В чем отличие удельной мощности от условной?
10. В чем особенность расчета освещенности от светильника, установленного наклонно к горизонтальной плоскости?

Заключение

Традиционно сугая на ограниченность объема учебного пособия, автор отмечает, что поставленная задача практически выполнена. В учебном пособии отражены все основные вопросы светотехники, однако сложность тематики не позволила изложить их более детально. Поэтому основным назначением учебного пособия является помощь студентам при изучении курса «Электрическое освещение» и при выполнении расчетно-графических и курсовых работ соответствующей тематики.

Отметим, что даже при кратком изложении отдельных вопросов вряд ли удалось полностью охватить все вопросы, возникающие при светотехническом и электротехническом расчетах осветительных установок, поэтому при возникновении каких-либо сложностей или неясностей желательно обращаться к источникам, указанным в библиографическом списке.

Библиографический список

1. Электротехнический справочник. Разд.: Электрическое освещение / Под ред. И.Н. Орлова и др. – М.: Энергоиздат, 1982. – 720 с.
2. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 528 с.
3. *Лебедкова С.М., Матвеев А.В., Петров В.Н.* Инженерные методы расчета светотехнических параметров осветительных установок. – М.: МЭИ, 1984. – 160 с.
4. *Гуторов М.М.* Основы светотехники и источники света: Учеб. пособие для вузов. 2-е изд. доп., и перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 384 с.
5. *Кнорринг Г.М.* Осветительные установки. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 288 с.
6. Освещение открытых пространств / Н.В. Велоцкий, М.С. Дадиомов, Л.Д. Николаева и др. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 232 с.
7. Правила устройства электроустановок. 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 480 с.
8. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Под ред. Г.М. Кнорринга. – М.: Энергоатомиздат, 1976. – 384 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение..... | 3 |
| 1. ОСНОВЫ СВЕТОТЕХНИКИ | 4 |
| 1.1. Энергия излучения и энергетический поток | 4 |
| 1.2. Спектральное распределение излучения | 8 |
| 1.3. Приемники оптического излучения | 11 |
| 1.4. Основные положения колориметрии. Законы смещения цветов. Цветовое пространство..... | 23 |
| Контрольные вопросы и задания..... | 25 |
| 2. ИСТОЧНИКИ СВЕТА | 26 |
| 2.1. Параметры источников света (ламп)..... | 26 |
| 2.2. Основные типы источников света. Области применения и тенденции развития | 28 |
| 2.3. Схемы включения люминесцентных ламп..... | 36 |
| Контрольные вопросы и задания..... | 45 |
| 3. ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ИХ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ..... | 45 |
| 3.1. Классификация осветительных приборов | 45 |
| 3.2. Светотехнические характеристики световых приборов | 48 |
| 3.3. Нормированные кривые силы света | 49 |
| 3.4. Нормирование осветительных установок | 52 |
| 3.5. Показатель ослепленности | 55 |
| 3.6. Пульсация излучений | 56 |
| 3.7. Показатель дискомфорта..... | 57 |
| Контрольные вопросы и задания..... | 57 |
| 4. СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК | 58 |
| 4.1. Требования к светотехническому расчету | 58 |
| 4.2. Основные факторы влияния на точность и качество расчетов | 60 |
| 4.3. Метод коэффициента использования..... | 61 |
| 4.4. Расчет освещенности по удельной мощности..... | 68 |
| 4.5. Расчет освещенности по условной мощности | 70 |
| 4.6. Точечный метод расчета освещенности | 72 |
| 4.7. Расчет освещенности на горизонтальной плоскости | 75 |
| 4.8. Расчет освещенности на наклонной и вертикальной плоскостях ... | 76 |
| 4.9. Расчет освещенности от светящей линии..... | 81 |
| 4.10. Прожекторное освещение | 82 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК | 84 |
| 5.1. Этапы и задачи проектирования..... | 84 |
| 5.2. Электротехническая часть проекта | 86 |
| 5.3. Групповые сети | 88 |
| 5.4. Электрические осветительные сети | 89 |
| 5.5. Выбор сечения проводников по току нагрузки и защита осветительных сетей..... | 90 |
| 5.6. Расчет сетей по потере напряжения | 91 |
| Контрольные вопросы и задания..... | 94 |
| Заключение | 96 |
| Библиографический список..... | 97 |

Учебное издание

КОЛЕСНИК Григорий Платонович

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Учебное пособие

Редактор Р.С. Кузина

Корректор И.А. Арефьева

Компьютерная верстка К.Г. Солнцев

ЛР № 020275. Подписано в печать от 02.09.02.

Формат 60x84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 5,81. Уч.-изд. л. 6,01. Тираж 200 экз.

Заказ

Редакционно-издательский комплекс

Владимирского государственного университета.

600000, Владимир, ул. Горького, 87.