**Министерство строительства
и жилищно-коммунального хозяйства
Российской Федерации**

**Федеральное автономное учреждение
«Федеральный центр нормирования, стандартизации
и оценки соответствия в строительстве»**

Методическое пособие

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ И ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Москва 2016

gost.e-ecolog.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 4
1 Расчет искусственного освещения помещений общественных и жилых зданий . . .5
1.1 Выбор источника света 5
1.2 Выбор метода расчета 7
1.3 Светотехнические характеристики светильников. Кривые силы света и фотометрические файлы 11
1.4 Расчет прямой составляющей освещенности точечным методом. Расчет освещенности от точечного излучателя с симметричным светораспределением. 22
1.5 Расчет освещенности от точечного излучателя с несимметричным светораспределением 27
1.6 Расчет освещенности от линейных излучателей 29
1.7 Расчет освещенности от прямоугольных поверхностных излучателей равномерной яркости 33
1.8 Учет отраженной составляющей освещенности 36
1.9 Расчет средней освещенности методом коэффициента использования светового потока 37
1.10 Расчет средней освещенности методом удельной мощности 45
2 Инженерные методы расчета качественных показателей искусственного освещения 50
2.1 Ограничение слепящего действия искусственного освещения в помещениях 50
2.2 Коэффициент пульсации освещенности в помещении 65
2.3 Цилиндрическая освещенность. 71
3 Искусственное освещение общественных и жилых помещений 75
3.1 Общие положения 75
3.2 Освещение административных помещений 95
3.3 Освещение помещений дошкольных образовательных учреждений 99

3.4 Освещение помещений общеобразовательных школ и высших учебных заведений 101
3.5 Освещение помещений лечебно-профилактических учреждений 106
3.6 Освещение помещений предприятий торговли 110
3.7 Освещение помещений педприятий общественного питания 113
3.8 Освещение помещений предприятий бытового обслуживания 115
3.9 Освещение гостиничных помещений 116
4 Искусственное освещение помещений жилых зданий 119
Приложение А Основные понятия, термины и определения 122
Приложение Б Пример расчета объединенного показателя дискомфорта 128
Приложение В Программные средства для расчета искусственного освещения помещений жилых и общественных зданий 137
Список использованной литературы 138
Заключение 141

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее методическое пособие разработано в развитие положений Свода правил СП 52.13330 «Естественное и искусственное освещение» в целях выполнения светотехнической части проектов искусственного освещения в соответствии с заложенными в нем нормативными требованиями.

Пособие ориентирует проектировщиков на использование современных энергоэффективных источников света и систем искусственного освещения. Оно разъясняет методологические основы и детализирует указания по проектированию светотехнической части проектов искусственного освещения общественных и жилых зданий, позволяющих реализовывать требования СП 52.13330.2011.

Существенное внимание уделено показателям качества освещения, включающим ограничение слепящего действия и пульсацию светового потока в помещениях, а также обеспечению равномерности распределения освещенности в помещениях.

Методическое пособие предназначено для электроотделов организаций, выполняющих проекты электроосвещения. Оно предполагает применение общедоступных программных средств, наиболее широко распространенных в практике проектирования искусственного освещения.

Документ разработан авторским коллективом: к. т. н. Шмаров И. А., к. т. н. Коркина Е. В., инж. Бражникова Л. В. (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук»); инж. Е. А. Литвинская (ООО «ЦЕРЕРА-ЭКСПЕРТ»).

1 Расчет искусственного освещения помещений общественных и жилых зданий

1.1 Выбор источника света

1.1.1 Проектирование и расчет искусственного освещения начинаются с выбора источника света.

Для освещения помещений общественных и жилых зданий следует использовать источники света с цветовой нормированной температурой от 2400 К до 6500 К.

Интенсивность ультрафиолетового излучения в диапазоне длин волн 320–400 нм не должна превышать 0,03 Вт/м^2; наличие в спектре излучения длин волн менее 320 нм не допускается [22].

1.1.2 Поскольку современные нормативные требования к искусственному освещению помещений определяются не только создаваемой им освещенностью, но и расходом электроэнергии на ее создание, выраженной в удельной мощности (Вт/м^2), для освещения следует использовать источники света, имеющие высокую световую отдачу (лм/Вт).

1.1.3 Требованиям к спектральному составу излучения и энергетической эффективности отвечают светодиоды и светодиодные модули, люминисцентные лампы и металлогалогенные лампы.

Спектр светодиодов в отличие от спектра люминесценых и металлогалогенных ламп является непрерывным и тем самым более приближенным к спектру солнечного излучения, что показано на рисунке 1.1. Применение светодиодов в общественных и жилых зданиях гигиенически обосновано и разрешено санитарно-эпидемиологическими нормами.

Исключение составляют дошкольные образовательные учреждения (ДОУ) и лечебно-профилактические учреждения (ЛПУ), применение светодиодных источников в которых запрещено. В данных помещениях могут применяться люминесцентные лампы, компактные люминесцентные лампы, металлогалогеновые лампы.

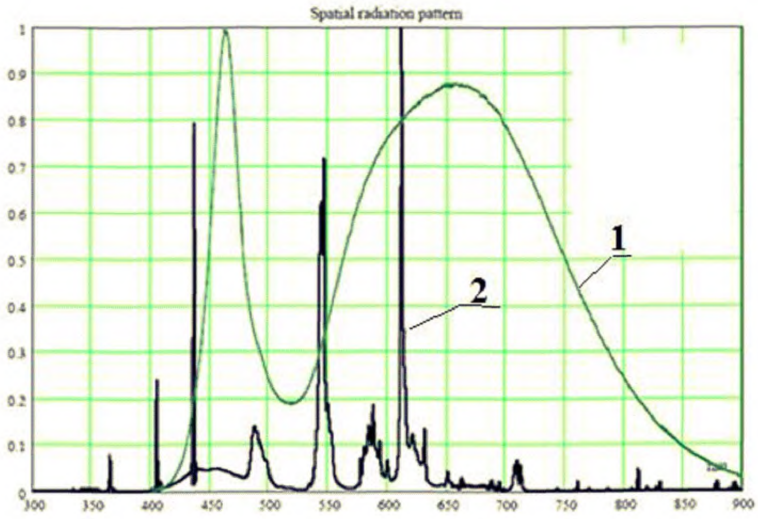
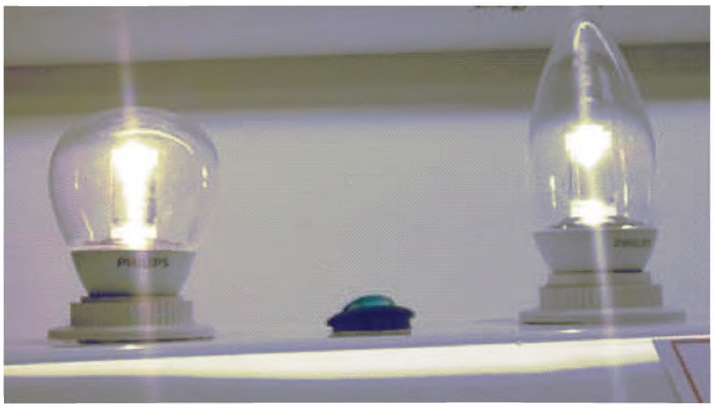


Рисунок 1.1 – Плотность спектрального распределения излучения светодиода и люминесцентной лампы; 1 – светодиод; 2 – люминесцентная лампа

1.1.4 Световая отдача светодиодов в массовом производстве достигает 100-130 лм/Вт. На практике применяют светодиодные лампы (ретрофиты), показанные на рисунке 1.2, которые можно использовать в существующих светильниках для ламп накаливания и люминесцентных ламп и светодиодные светильники.



а)



б)

Рисунок 1.2 – Светодиодные лампы на замену в существующих светильниках: а) – ламп накаливания и компактных люминесценых ламп; б) люминесцентых ламп

Светодиодные светильники (рисунок 1.3) представляют собой сборки нескольких светодиодов с набором электрических, оптических, механических и тепловых компонентов. Такие сборки называются светодиодными модулями. Светодиодные модули выпускаются в виде плат с контактами и отверстиями для крепления и могут иметь встроенные устройства управления на плате.



а) б) в)

Рисунок 1.3 – Светодиодные модули (а, б) и светодиодный светильник (в)

1.1.5 В общественных помещениях бюджетной сферы (за исключнем оговоренных далее случаев) не следует применять лампы накаливания, дуговые ртутные люминесцентные лампы (ДРЛ), люминесцентные лампы с галофосфатным люминофором и компактные люминесцентные лампы (КЛЛ).

1.2 Выбор метода расчета

1.2.1 Сегодня при искусственном освещении необходимо обеспечить не только среднюю освещенность по помещению и минимальную освещенность на рабочих местах, но и выполнение нормы энергетической эффективности, обеспечив удельную мощность (Вт/м^2), не превышающую требования норм, а также требования к качественным показателям помещений (объединенному показателю дискомфорта, коэффициенту пульсации освещенности, равномерности распределения освещенности).

1.2.2 Все применяемые методы расчета освещения можно свести к двум основным: точечному и методу светового потока, подразделяющемуся на метод коэффициента использования и метод удельной мощности.

На основе точечного метода могут быть расчитаны средняя, минимальная освещенность и равномерность, распределение освещенности и удельная мощность.

По методу светового потока возможно расчитать среднюю освещенность и удельную мощность. При расчете этим методом минимальная освещенность оценивается лишь приближенно, без выявления точек, в которых она имеет место. Средняя освещенность может быть рассчитана на как угодно расположенной поверхности, но наиболее употребительные формы этого метода предназначены для расчета только горизонтальной освещенности.

1.2.3 Точечный метод является предпочтительным, но он трудоемок и применяется в программных средствах. Рекомендуемые программные средства для расчета искусственного освещения приведены в приложении В.

1.2.4 Расчет искусственного освещения заключается в определении числа и мощности источников света, обеспечивающих нормированную (с учетом коэффициентов эксплуатации) освещенность, либо в определении по заданному размещению светильников и мощности источников света, используемых в них, создаваемой ими освещенности на указанных в нормах рабочих поверхностях.

1.2.5 Освещенность $E_{р.п.}$ на рабочей поверхности создается световым потоком, поступающим непосредственно от светильников (прямая составляющая освещенности $E_{п.с.}$ и отраженным, падающим на расчетную поверхность в результате многократных отражений от стен, потолка, пола, оборудования (отраженная составляющая освещенности $E_{о.с.}$):

$$E_{р.п.} = E_{п.с.} + E_{о.с.}$$

1.2.6 Прямая составляющая освещенности рассчитывается на основе кривой силы света светильника и расположения светильников относительно выбранной точки на рабочей поверхности, поэтому ее значения на отдельных участках рабочей поверхности могут быть различными.

1.2.7 Отраженная составляющая освещенности определяется световым потоком, падающим на отражающие поверхности непосредственно от светильников, т. е. определяется светораспределением светильников, отражающими свойствами ограждающих поверхностей, а также соотношением размеров освещаемого помещения.

1.2.8 Методика расчета прямой составляющей освещенности выбирается в зависимости от применяемых светящих элементов проектируемой осветительной установки, в дальнейшем именуемых как излучатели. В зависимости от соотношения размеров излучателей и расстояний их до освещаемой поверхности все разновидности излучателей можно разделить на три группы: точечные, линейные и поверхностные.

Точечность светящего элемента определяется его относительными размерами по отношению к расстоянию до освещаемой точки пространства. Практически принято считать светящее тело точечным, если его размеры не превышают 0,2 расстояния до освещаемой точки.

В практике расчета точечный светильник принимается за светящую точку с условно выбранным световым центром, характеризуемым силой света по всем направлениям в пространстве (рисунок 1.4).

К точечным светящим элементам относятся, светильники с одиночными светодиодами, компактными люминисцентными лампами и металлогалогенными лампами.

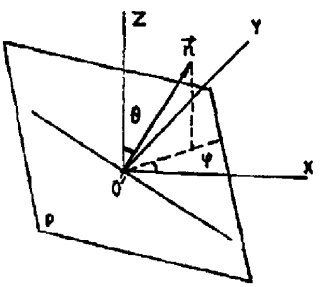


Рисунок 1.4 – Ориентация расчетной плоскости *P* в пространстве в сферической системе координат

1.2.9 К линейным светящим элементам относятся светящие элементы, имеющие несоизмеримо малые размеры по одной из осей по сравнению с размерами по другой оси.

В практике расчета к светящим линиям относятся излучатели, длина которых превышает половину расчетной высоты h_p. К светящим линиям относятся люминесцентные светильники, расположенные непрерывными линиями или

линиями с разрывами, а также протяженные светящие панели, длина которых соизмерима с расстоянием до освещаемой поверхности. Основной характеристикой линейных источников является удельная сила света, под которой понимают силу света, излучаемую единицей длины источника (1 м) в плоскости, перпендикулярной его оси, и кривые силы света в продольной и поперечной плоскостях.

1.2.10 К поверхностным излучателям, для которых нельзя применить закон квадратов расстояний из-за значительной погрешности, возникающей в расчете, относятся установки отраженного света в виде световых потолков или ниш; панели, перекрытые рассеивателями или экранирующими решетками. Размеры этих светящих элементов соизмеримы с расстоянием до расчетной точки. Светящие элементы этой группы характеризуются следующими показателями: формой и размером светящей поверхности, распределением яркости по различным направлениям пространства и по самой светящей поверхности. Световые потолки в установках отраженного света, а также световые потолки и панели, перекрытые рассеивателями, обладают практически одинаковой яркостью по всем направлениям пространства. Исключение составляют светящие поверхности, перекрытые экранирующими решетками, защитный угол которых может существенно влиять на распределение яркости в пространстве. При расчете осветительных установок этого типа можно принимать яркость светящей поверхности равной ее среднему значению.

Использование поверхностных излучателей, требующих значительной установленной мощности, может быть оправданным в установках архитектурного освещения, когда кроме утилитарных требований предъявляются также дополнительные архитектурно-художественные требования.

1.2.11 Необходимо иметь в виду, что в зависимости от условий применения излучатель может быть отнесен к определенной группе. Так, линейный излучатель может рассматриваться как точечный, если его длина в два раза меньше расстояния до точки, в которой определяется создаваемая им освещенность, при этом погрешность при расчете не превышает 5%. Аналогичное допущение может быть принято для поверхностного излучателя, если расстояние, на котором определяется освещенность, в 2,5 раза превышает наибольший размер поверхности.

Подход к расчету отраженной составляющей является общим для всех трех групп излучателей, он заключается в определении первоначально попавшего от светильников светового потока на отражающие поверхности ограждающих помещение конструкций.

1.3 Светотехнические характеристики светильников. Кривые силы света и фотометрические файлы

1.3.1 В практике расчетов светильник принимается за излучатель (точку, линию, поверхность) с условно выбранным световым центром.

Светораспределение светильников определяется фотометрическим телом светильника, под которым понимается геометрическое место концов радиус-векторов, выходящих из светового центра, длина которых пропорциональна силе света светильника в соответствующем направлении (рисунок 1.5).

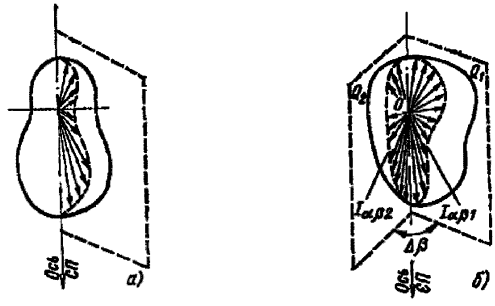


Рисунок 1.5 – Симметричные (а) и несимметричные (б) фотометрические тела световых приборов

Светораспределение светильников принято характеризовать кривыми силы света, представляющими зависимости силы света светильника от меридиональных α и экваториальных β углов, получаемых сечением фотометрического тела плоскостями. Преимущественно пользуются кривыми силы света $I = I(\alpha)$, получающимися сечением фотометрического тела вертикальными плоскостями при разных значениях углов β.

В зависимости от формы фотометрического тела светильники

подразделяются на симметричные, фотометрическое тело которых имеет ось или плоскость симметрии, и несимметричные (рисунок 1.5). К первой группе относятся круглосимметричные светильники, кривая силы света которых одинакова при любых значениях углов β.

Кривые силы света представляются в виде графиков, таблиц, или задаются в виде формул, аппроксимирующих кривые силы света.

Для светильников с симметричным фотометрическим телом ГОСТ Р 54350-2015 кривые силы света представлены в виде графиков $I_\alpha = f(\alpha)$ для светового потока светильника Φ = 1000 лм. По ГОСТ все светильники по типу кривой силы света подразделяют на семь классов: К, Г, Д, Л, Ш, М, С. Кроме того, по типу светораспределения (доли излучения в верхнюю и нижнюю полусферы) светильники подразделяются на пять классов: П, Н, Р, В, О. Заводы-изготовители в паспортных данных на светильники указывают класс светораспределения и класс кривой силы света. Светильники отличные от данной классификации, считаются специальными, и на них указываются табличные или графические особые данные для характеристики светораспределения.

Отдельные стандартные классы светораспределения были детализованы (Д-1, Д-2; Г-1÷Г-4; К-1÷К-4; Л; Ш) и установлены поля допусков, в пределах которых реальное светораспределение светильника позволяет отнести его к тому или иному классу (рисунок 1.6, таблица 1.1).

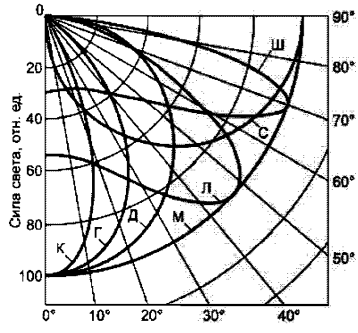


Рисунок 1.6 – Типовые кривые силы света по ГОСТ Р 54350

Таблица 1.1 – Типовые кривые силы света отечественных круглосимметричных светильников (Φ = 1000 лм)

Коэффициенты	I_α = const	$I_\alpha = I_0 \cos(n\alpha)$												$I_\alpha = I_0 \sin(n\alpha)$	$I_\alpha = I_0 \{\cos\alpha/\cos[\theta\sin^m(C\alpha)]\}$		
	-	n=0,7841	n=1	n=1,0374	n=1,1038	n=1,2928	n=1,5109	n=1,65	n=1,7582	n=2,0402	n=2,3683	n=2,7471	n=2,91	n=1	θ = 70°; m = 1,2; n = 1,66	θ = 78,3°; m = 1,4; n = 1,39	θ =84,4°; m = 1,5; n = 1,2
α, градусы	М	Д-1	Д	Д-2	Д-3	Г-1	Г-2	Г	Г-3	К-1	К-2	К-3	К	С	Л (Ш1)	Л-Ш (Ш 2)	Ш (Ш3)
0	159,2	233,4	330,0	295,0	377,3	503,0	670,7	800,0	894,2	1192	1583	2120	2400	0	154,8	119,6	78,3
5	159,2	232,9	328,7	293,8	375,5	499,8	664,8	791,7	883,8	1173	1549	2062	2323	17,9	155,5	119,0	78,6
10	159,2	229,2	325,0	290,2	370,3	490,2	647,5	767,1	852,5	1118	1449	1893	2097	35,6	158,2	118,6	79,4
15	159,2	228,5	318,8	284,2	361,6	474,4	618,5	726,5	801,1	1026	1288	1595	1737	53,1	164,5	120,2	81,4
20	159,2	224,7	310,1	275,9	349,8	452,7	579,5	670,9	731,2	902	1052	1261	1265	70,1	175,5	126,0	81,7
25	159,2	220,0	299,1	265,3	334,3	425,1	530,2	601,5	643,8	750	810	832	712	86,6	190,7	134,0	83,3
30	159,2	214,1	285,8	252,5	316,0	392,1	471,4	519,6	541,3	574	515	249	113	102,5	210,8	145,0	87,2
35	159,2	207,1	270,3	237,7	294,7	354,1	404,7	426,9	439,9	380	196	0	0	117,6	235,1	159,6	94,8
40	159,2	199,3	252,8	221,0	270,7	311,7	330,9	325,4	301,0	174	0	0	0	131,8	261,8	180,4	105,4
45	159,2	190,6	233,3	202,4	244,2	265,3	251,4	217,2	168,8	0	0	0	0	145,0	281,6	209,7	121,3
50	159,2	180,0	212,1	182,1	215,4	215,5	167,3	104,4	32,6	0	0	0	0	157,0	282,1	243,3	137,1
55	159,2	170,5	189,3	160,4	184,6	162,9	81,8	0	0	0	0	0	0	168,0	257,2	269,7	162,0
60	159,2	159,2	165,0	137,4	152,0	108,3	0	0	0	0	0	0	0	201,9	212,9	275,0	199,0
65	159,2	147,1	139,5	113,2	118,2	52,6	0	0	0	0	0	0	0	185,8	161,7	247,6	230,0
70	159,2	134,3	112,9	88,1	83,1	0	0	0	0	0	0	0	0	192,6	113,6	194,0	252,0
72	159,2	129,0	102,0	77,9	68,9	0	0	0	0	0	0	0	0	195,0	95,9	167,0	243,2
74	159,2	123,6	91,0	67,5	54,6	0	0	0	0	0	0	0	0	197,1	79,4	139,0	225,0
75	159,2	121,0	85,4	62,3	47,4	0	0	0	0	0	0	0	0	198,0	71,5	125,2	212,3
76	159,2	118,1	79,8	57,1	40,2	0	0	0	0	0	0	0	0	199,0	63,8	111,1	199,0
78	159,2	112,6	68,6	46,6	25,7	0	0	0	0	0	0	0	0	199,0	49,1	84,5	165,5
80	159,2	106,9	57,3	36,0	11,2	0	0	0	0	0	0	0	0	201,9	35,8	60,4	127,7
82	159,2	101,2	45,9	25,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	203,0	23,8	39,5	89,1
84	159,2	95,4	34,5	14,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	203,9	13,8	22,5	53,6
85	159,2	92,5	28,7	9,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	204,2	10,0	16,2	39,0
86	159,2	89,6	23,0	4,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	204,5	6,2	10,1	25,0
88	159,2	83,6	11,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	204,9	1,6	2,5	6,4
90	159,2	77,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	205,0	0	0	0

Типовые кривые силы света светильников, которые можно считать точечными излучателями, могут быть представлены в аналитической форме, учитывая, что значения силы света относятся к источнику света с условным световым потоком $\Phi = 1000$ лм:

для кривой типа «М»

$$I(\alpha) = 159{,}2 \tag{1.1}$$

для кривой типа «Д»

$$I(\alpha) = 330 \cos\alpha \tag{1.2}$$

для кривой типа «Д-1»

$$I(\alpha) = 233{,}4 \cos(0{,}7841\alpha) \tag{1.3}$$

для кривой типа «Д-2»

$$I(\alpha) = 295 \cos(1{,}0374\alpha) \tag{1.4}$$

для кривой типа «Д-3»

$$I(\alpha) = \begin{cases} 377{,}3\cos(1{,}1038\alpha), \alpha < \dfrac{90^\circ}{1{,}1038} \\ 0 \qquad\qquad\qquad\quad , \alpha \geq \dfrac{90^\circ}{1{,}1038} \end{cases} \tag{1.5}$$

для кривой типа «Г»

$$I(\alpha) = \begin{cases} 800\cos(1{,}65\alpha), \alpha < \dfrac{90^\circ}{1{,}65} \\ 0 \qquad\qquad\quad , \alpha \geq \dfrac{90^\circ}{1{,}65} \end{cases} \tag{1.6}$$

для кривой типа «Г-1»

$$I(\alpha) = \begin{cases} 503\cos(1{,}2928\alpha), \alpha < \dfrac{90^\circ}{1{,}2928} \\ 0 \qquad\qquad\quad , \alpha \geq \dfrac{90^\circ}{1{,}2928} \end{cases} \tag{1.7}$$

для кривой типа «Г-2»

$$I(\alpha) = \begin{cases} 607{,}7\cos(1{,}5109\alpha), \alpha < \dfrac{90^\circ}{1{,}5109} \\ 0 \qquad\qquad\quad , \alpha \geq \dfrac{90^\circ}{1{,}5109} \end{cases} \tag{1.8}$$

для кривой типа «Г-3»

$$I(\alpha)=\begin{cases}894,2\cos(1,75822\alpha), \alpha < \dfrac{90^\circ}{1,7582} \\ 0 \qquad\qquad\qquad\quad , \alpha \geq \dfrac{90^\circ}{1,7582}\end{cases} \tag{1.9}$$

для кривой типа «К»

$$I(\alpha)=\begin{cases}2400\cos(2,91\alpha), \alpha < \dfrac{90^\circ}{2,91} \\ 0 \qquad\qquad\quad , \alpha \geq \dfrac{90^\circ}{2,91}\end{cases} \tag{1.10}$$

для кривой типа «К-1»

$$I(\alpha)=\begin{cases}1192\cos(2,0402\alpha), \alpha < \dfrac{90^\circ}{2,0402} \\ 0 \qquad\qquad\quad , \alpha \geq \dfrac{90^\circ}{2,0402}\end{cases} \tag{1.11}$$

для кривой типа «К-2»

$$I(\alpha)=\begin{cases}1583\cos(2,3683\alpha), \alpha < \dfrac{90^\circ}{2,3683} \\ 0 \qquad\qquad\quad , \alpha \geq \dfrac{90^\circ}{2,3683}\end{cases} \tag{1.12}$$

для кривой типа «К-3»

$$I(\alpha)=\begin{cases}2120\cos(2,7471\alpha), \alpha < \dfrac{90^\circ}{2,7471} \\ 0 \qquad\qquad\quad , \alpha \geq \dfrac{90^\circ}{2,7471}\end{cases} \tag{1.13}$$

для кривой типа «С»

$$I(\alpha) = 205\sin\alpha \tag{1.14}$$

для кривой типа «Л»

$$I(\alpha)=154,8\left(\frac{\cos\alpha}{\cos(70\sin^{1,2}1,66\alpha)}\right) \tag{1.15}$$

для кривой типа «Л-Ш»

$$I(\alpha)=119\left(\frac{\cos\alpha}{\cos(78,3\sin^{1,4}1,39\alpha)}\right) \tag{1.16}$$

для кривой типа «Ш»

$$I(\alpha)=78,3\left(\frac{\cos\alpha}{\cos(84,4\sin^{1,5}1,2\alpha)}\right) \tag{1.17}$$

1.3.2 Для точных вычислений можно аппроксимировать кривую силы света методом наименьших квадратов. Кривая силы света как любая непрерывная функция может быть представлена полиномом *n*-ой степени:

$$I(\alpha) = \sum_{i=0}^{n} a_n \alpha^n \ . \qquad (1.18)$$

Степень полинома может быть определена из минимума среднеквадратичного отклонения:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} (y_i - f(x_i)^2} \ . \qquad (1.19)$$

При низких степенях полинома велики отклонения значений полинома от паспортных значений кривой $I(\alpha)$, что приводит к большому среднеквадратичному отклонению σ. При высоких степенях полинома его значения описывают более частные изменения, чем кривая $I(\alpha)$, что также повышает значение среднеквадратичного отклонения σ.

1.3.3 При использовании светильников с несимметричными кривыми сил света параметры которых задаются двумя, тремя и более кривыми зависимости $I(\alpha)$ при разных углах β; для определения $I(\alpha; \beta)$ при углах β, паспортные данные для которых не приводятся, может быть использована интерполяция полиномами Лагранжа, если зависимость $I(\alpha; \beta)$ от углов β носит линейный характер.

При нелинейном характере зависимости $I(\alpha; \beta) = f(\beta)$ следует использовать нелинейные методы интерполяции.

При заданных в паспорте кривых сил света $I = I(\alpha)$ для двух углов β_0 и β_1 искомые значения можно определить по формуле:

$$I(\alpha, \beta) = \frac{(\beta - \beta_1)}{(\beta_0 - \beta_1)} I_1(\alpha) + \frac{(\beta - \beta_1)}{(\beta_0 - \beta_1)} I_2(\alpha) \ . \qquad (1.20)$$

При заданных в паспорте кривых сил света $I = I(\alpha)$ для трех углов β: β_0, β_1, β_2 искомые значения $I(\alpha; \beta)$ можно определить по формуле:

$$I(\alpha, \beta) = \frac{(\beta - \beta_1)(\beta - \beta_2)}{(\beta_0 - \beta_1)(\beta_0 - \beta_2)} I_1(\alpha) + \frac{(\beta - \beta_0)(\beta - \beta_2)}{(\beta_1 - \beta_0)(\beta_1 - \beta_2)} I_2(\alpha) + \frac{(\beta - \beta_0)(\beta - \beta_1)}{(\beta_2 - \beta_0)(\beta_2 - \beta_1)} I_3(\alpha) \ , \qquad (1.21)$$

где $I_1(\alpha)$, $I_2(\alpha)$, $I_3(\alpha)$ – значения силы света для искомого угла по паспортным графикам.

При наличии большого числа графических зависимостей $I = I(\alpha)$ для различных значений β в паспорте или каталоге на светильник используются формулы:

$$I(\alpha,\beta)=\sum_{k=1}^{N} p_{nk}(\beta)I_k(\alpha)\,, \tag{1.22}$$

$$p_{nk}(\beta)=\frac{(\beta-\beta_0)...(\beta-\beta_k-1)(\beta-\beta_k+1)...(\beta-\beta_n)}{(\beta_k-\beta_0)...(\beta_k-\beta_{nk}-1)(\beta_k-\beta_{nk}+1)...(\beta_k-\beta_n)}\,. \tag{1.23}$$

Пример 1. Определить значение условной силы света (Фл = 1000 лм) от светильника с КСС, приведенной на рисунке 1.7, в направлении углов α = 30°, β = 45°.

$$I(30^{\circ},45^{\circ})=\frac{45-90}{0-90}700+\frac{45}{90}200=350+100=450\ кд$$

Паспортное значение I(30°, 45°) = 420 кд. Ошибка в определении I(α; β) составляет 7,1%.

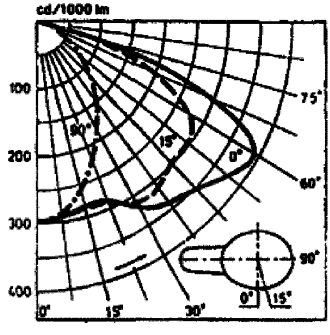


Рисунок 1.7 – Пример представления КСС несимметричного светильника в каталогах

Пример 2. Определить значение условной силы света (Фл = 1000 лм) от светильника с КСС, приведенной на рисунке 1.8, в направлении углов α = 45°, β = 15°.

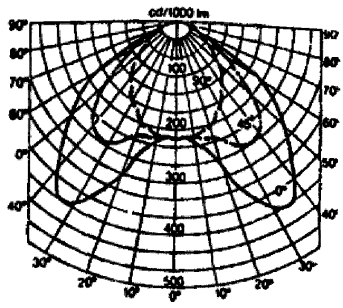


Рисунок 1.8 – Пример представления КСС несимметричного светильника в каталогах

Исходя из паспортных данных на светильник, можно записать:

$$I(45^\circ,15^\circ)=\frac{15-90}{0-90}I(45^\circ,0^\circ)+\frac{15-0}{90-0}I(45^\circ,90^\circ)=\frac{75}{90}380+\frac{15}{90}100=332\ кд\ .$$

Паспортное значение I(45°, 15°) = 300 кд. Следовательно, ошибка в определении I составила 10,6%.

1.3.4 В фотометрическом файле распределение силы света ОП представляют в виде *I*-таблицы, содержащей значения силы света (*I*) по направлениям, определяемым соответствующими меридиональными и экваториальными углами в зависимости от принятой системы фотометрирования по ГОСТ 54350.

1.3.5 При использовании компьютерного расчета искусственного освещения светораспределение ОП должно быть представлено в виде файлов стандартных форматов, например в *ies*-формате.

1.3.6 Фотометрические данные ОП записываются в виде текстового файла в IES-формате. Основные параметры и примеры их записи приведены в таблице 1.2.

1.3.7 Каждую группу параметров, помеченную отдельной строкой в таблице 5.2, необходимо начинать с новой строки.

1.3.8 Последовательность строк и параметров в строке должна строго соответствовать таблице 1.2.

1.3.9 Последовательность строк и параметров в строке должна строго соответствовать таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Параметры и примеры записи строки в формате *ies*

Номер строки	Параметр	Пример записи	Примечания
1	2	3	4
1.	IESNA:LM-63-	IESNA:LM-63-1995	Указатель стандарта
2.	[TEST]	[TEST] Протокол №25/2	Номер протокола
3.	[DATA]	[DATA] 28.04.2003	Дата протокола (день.месяц.год)
4.	[MANUFAC]	[MANUFAC] Оптоган Офис 45	Производитель ОП
5.	[LUMCAT]	[LUMCAT]	Название ОП по каталогу
6.	[LUMINAIRE]	[LUMINAIRE] Для освещения офисов и учебных помещений	Описание ОП
7.	[LAMPCAT]	[LAMPCAT] светодиоды 0,3 Вт	Обозначение ИС по каталогу

Продолжение таблицы 1.2

1	2	3	4
8.	[LAMP]	[LAMP]	Описание ИС
9.	[OTHER]	[OTHER] Рассеиватель из поликарбоната	Дополнительная информация
10.	[MORE]	[MORE] Имеет широкую боковую КСС и может применяться для освещения улиц и дорог шириной до 40 м.	Строка продолжения
11.	TILT=	TILT=NONE	
12.	<число ламп в светильнике>	1	Смотри примечание 1
	<световой поток лампы>	27000	Номинальный световой поток ИС в лм. См. Примечание 2.
	<множитель>	27	Множитель, на который при необходимости могут быть умножены все значения силы света ОП. См. Примечание 3.
	<число полярных углов>	19	Углы γ в системе (C,γ), или β в системе (B,β), или α в системе (A,α)
	<число азимутальных углов>	37	Углы C в системе (C,γ), или B в системе (B,β), или A в системе (A,α)
	<тип фотометрии>	1	Параметр принимает следующие значения: 1 – для системы (C,γ) 2 – для системы (B,β) 3 – для системы (A,α)
	<система единиц>	2	Параметр принимает следующие значения: 1 – размеры ОП в футах; 2 – размеры ОП в метрах.
	<ширина светильника>	0.2	Размер ОП по оси 90°–270° См. Примечание 4.
	<длина светильника>	0.43	Размер ОП по оси 0°–180° См. Примечание 4.
	<высота светильника>	0.15	См. Примечание 4.

13.	<коэффициент балласта>	1	Коэффициент, учитывающий различия в световом потоке ОП при фотометрировании с лабораторным и реальным ПРА. При отсутствии такой информации принимается равным 1.
	<признак версии>	1	Параметр, учитывающий версию стандарта. Для совместимости с предыдущими версиями должен равняться 1.
	<мощность светильника>	275	Полная мощность ОП в Вт, включая потери в ПРА.
14.	<полярные углы>	0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90	Список значений полярных углов в град. в нарастающем порядке. Для системы $^{(C,\gamma)}$ первое значение 0 или 90, соответственно последнее 90 или 180. Для систем $^{(B,\beta)}$ и $^{(A,\alpha)}$ первое значение 90 или 0, последнее 90.

Окончание таблицы 1.2

1	2	3	4
15.	<азимутальные углы>	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250 260 270 280 290 300 310 320 330 340 350 360	Список значений азимутальных углов в град. в нарастающем порядке. Для системы $^{(C,\gamma)}$ первое значение 0, последнее: 0 – при осесимметричном светораспределении ОП; 90 – при симметрии светораспределения ОП относительно обеих главных плоскостей; 180 – при симметрии светораспределения ОП относительно оси 0°–180°; 360 – при асимметричном светораспределении ОП. При наличии симметрии относительно оси 90°–270° первое значение 90, последнее 270. Для систем $^{(B,\beta)}$ и $^{(A,\alpha)}$ первое и последнее значения равны соответственно: 0 и 90, если светораспределение симметрично относительно главной продольной плоскости; –90 и 90 в противном случае.
	<силы света для всех полярных углов при первом азимутальном угле>	262.1 252.8 234.1 234.1 234.1 234.1 234.1 248.1 248.1 224.7 229.4 238.7 243.4 229.4 182.6 84.3 23.4 9.4 9.4	Списки значений сил света ОП в кд/м^2/1000лм по всем полярным углам для каждого азимутального угла. Каждый список значений сил света для каждого азимутального угла должен строго соответствовать списку значений полярных углов. Последовательность списков должна строго соответствовать списку значений азимутальных углов.
16.	<……..…>	……	
17.	<……..…>	……	

18.	<силы света для всех полярных углов при последнем азимутальном угле>	262.1 252.8 234.1 234.1 234.1 234.1 234.1 248.1 248.1 224.7 229.4 238.7 243.4 229.4 182.6 84.3 23.4 9.4 9.4	Количество значений сил света каждого списка в строке может быть произвольным с последующим переносом на последующие строки, но в пределах длины строк (132 символа). Первое значение силы света для каждого нового списка (азимутального угла) должно начинаться с новой строки.

Примечания.

1. В случае использования в одном ОП ламп с разными световыми потоками, значение этого параметра должно соответствовать среднему значению светового потока, отнесенному к одной лампе. Таким образом, произведение параметров <число ламп в светильнике> и <световой поток лампы в лм> должно равняться суммарному световому потоку ламп в ОП.

2. Если значения сил света вводятся в абсолютных единицах, а не приведенных к потоку лампы 1000 лм, то значение параметра <световой поток лампы в лм> должно быть –1 (минус единица).

3. Если значения сил света приведены к потоку лампы 1000 лм, то значение параметра <множитель> должно быть равно значению светового потока лампы, выраженного в килолюменах.

4. Для имитации точечного ОП каждый из параметров <ширина светильника>, <длина светильника> и <высота светильника> должен быть равен 0 (нулю). Для имитации ОП в виде светящего круга диаметром D параметр <ширина светильника> должен быть равен –D (минус D), а параметры <длина светильника> и <высота светильника> равны 0 (нулю).

1.3.10 Длина всех строк после строки TILT= не должна превышать 132 символа. Если необходимая запись параметров превышает эту длину, осуществляется перенос на последующие строки.

1.3.11 Значения параметров в строке отделяются друг от друга разделителем: запятой, одним или несколькими пробелами или символом перевода головки принтера на новую строку.

1.3.12 Все числовые данные должны быть в формате REAL (числа с плавающей точкой) за исключением следующих параметров:

<ориентация лампы> (в случае TILT=INCLUDE);

<число пар углов наклона и множителей> (в случае TILT=INCLUDE);

<число ламп в светильнике>;

<число полярных углов>;

<число азимутальных углов >;

<тип фотометрии>;

<система единиц>,

которые должны иметь формат INTEGER (целого числа).

1.3.13 В одном файле могут быть записаны данные нескольких ОП. В этом

случае сразу после последней строки предыдущего ОП следует первая строка следующего.

1.3.14 Интервалы углов в указанных диапазонах выбирают исходя из приемлемой точности интерполяции табличных значений, ограничиваясь максимальными значениями: 5° - для меридионального угла и 10° - для экваториального угла С. Для областей углов с большим перепадом силы света ОП шаг соответствующих углов уменьшают.

1.4 Расчет прямой составляющей освещенности точечным методом. Расчет освещенности от точечного излучателя с симметричным светораспределением

1.4.1 Для расчета средней освещенности применяют сетку контрольных точек, при которой контрольные точки размещаются в узлах прямоугольной решетки в пределах зоны выполнения работ или помещения в соответствии с требованиями СП 52.133330. Отношение длины ячейки решетки к ее ширине должно быть в пределах от 0,5 до 2. Максимальный размер ячейки решетки в метрах определяется по формуле

$$p = 0{,}2 \cdot 5^{lg(d)}, \qquad (1.24)$$

где p не должно превышать 10 м; d – набольший размер зоны выполнения работ или помещения, м.

Полоса 0,5 м границ зоны или от стен исключается из зоны расчета, за исключением случаев, когда там располагаются рабочие места.

Примечание: например, p = 0,2 м при d = 1 м; p = 1 м при d=10 м; p = 5 м при d = 100 м.

При размещении контрольных точек на плане помещения их сетка не должна совпадать с сеткой размещения светильников. При расположении в помещении крупногабаритного оборудования контрольные точки не должны располагаться на оборудовании. Если контрольные точки попадают на оборудование, то сетку контрольных точек следует сделать более частой и исключить.

1.4.2 При расчете освещенности и равномерности ее распределения по

помещению наиболее общие закономерности получаются при ориентации расчетной плоскости в сферической системе координат [11]. В соответствии с существующими стандартными обозначениями углов полярным θ и азимутальным φ углами в сферической системе координат $O''r\theta\varphi$, центр которой находится в расчетной точке (рисунок 1.9). Случай $\theta = \theta^0$ относится к горизонтально расположенной плоскости.

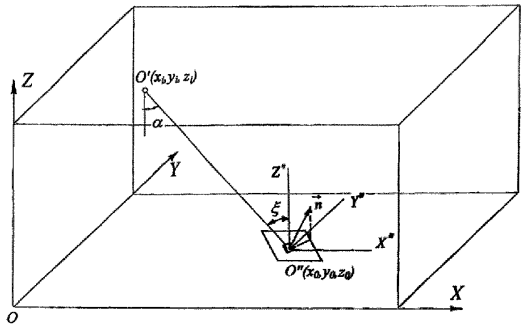


Рисунок 1.9 – Привязка помещения и светильников к осям координат

Случай $\theta = \pi/2$ соответствует пучку вертикальных плоскостей, ориентированных азимутальным углом φ.

Положение светильников определяется координатами (x_i, y_i, z_i) в декартовой системе Oxyz, центр которой помещается в один из углов помещения (рисунок 1.9).

Координаты расчетной точки $O''(x_0, y_0, z_0)$ определяются в той же системе координат Oxyz.

1.4.3 Расчет прямой составляющей начинается с расчета условной освещенности e_n. При этом условно принимается, что суммарный световой поток источников света в светильнике равен 1000 лм. Расчет условной освещенности ведется по формуле:

$$e_n = \sum_{i=1}^{N} I_i(\alpha)\cos\xi_i / r_i^2 = \sum_{i=1}^{N} e_i \,, \qquad (1.25)$$

где $I_i(\alpha)$ – сила света i-го светильника в направлении к точке расчета (тип применяемых светильников в строительном модуле обычно одинаков); r_i – расстояние от i-го светильника до расчетной плоскости; ξ_i – угол между лучом, падающим в расчетную точку от i-го светильника, и нормалью к расчетной

плоскости в данной точке (рисунок 1.9); N – число светильников.

Косинус угла ξ_i и r_i определяется по формулам:

$$\cos\xi_i = \frac{(x_i - x_0)\sin\theta\cos\varphi + (y_i - y_0)\sin\theta\sin\varphi + (z_i - z_0)\cos\theta}{\sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2}}, \quad (1.26)$$

$$r_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2}, \quad (1.27)$$

где x_i, y_i, z_i – координаты i-го светильника в декартовой системе координат с центром в одном из углов помещения или ячейки (рисунок 1.9); x_0, y_0, z_0 – координаты точки расчета в той же системе.

1.4.4 Значения силы света $I_i(\alpha)$ определяются исходя из паспортных данных светильника (таблицы, графики, формулы), рассчитанных значений угла α_i, значения которого определяются из формулы:

$$\alpha_i = \arccos\left(\frac{(z_i - z_0)}{\sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2}}\right). \quad (1.28)$$

1.4.5 Экранирование светильников расчетной плоскостью учитывается через значение $\cos\xi_i$. При $\cos\xi_i \le 0$ световые лучи от i светильника не падают в расчетную плоскость и $e_i = 0$.

1.4.6 Приведенные формулы (1.25) – (1.27) обобщают все возможные случаи ориентации расчетной плоскости и удобны для использования при расчете с помощью компьютера.

Частные случаи расположения расчетной плоскости вытекают из формул (1.25) - (1.27)

Условная освещенность горизонтальной плоскости от i-го светильника рассчитывается по формуле

$$e_i = \frac{I_i(\alpha_i)\cos^3\alpha_i}{(z_i - z_0)^2}. \quad (1.29)$$

Условная освещенность вертикальных плоскостей рассчитывается по формуле

$$e_i = \frac{I_i(\alpha_i)\cos^3\alpha_i}{(z_i - z_0)^2}\left((x_i - x_0)\cos\varphi + (y_i - y_0)\sin\varphi\right). \quad (1.30)$$

Условная освещенность наклонной плоскости только относительно оси Oz

(когда $\varphi = 0^0$)

$$e_i = \frac{I_i(\alpha_i)\cos^3\alpha_i}{(z_i - z_0)^2}\left(\cos\theta + \frac{x_i - x_0}{z_i - z_0}\sin\theta\right). \quad (1.31)$$

1.4.7 Освещенность в расчетной точке определяется по формуле:

$$E = \frac{\Phi\eta_{\smile}}{1000}e, \quad (1.32)$$

где $e = \sum_{i=1}^{N} e_i + e_0$ – сумма прямой и отраженной составляющей условной освещенности; Ф – суммарный поток источников света в светильнике; $\eta_{\smile}$ – коэффициент полезного действия светильника для нижней полусферы.

1.4.8 Для решения обратной задачи – нахождения светового потока лампы при заданной норме освещенности $E_н$ – расчет светового потока ведется по формуле:

$$\Phi = \frac{1000E_н}{MF \cdot e\ \eta_{\smile}} \quad (1.33)$$

где $E_н$ – норма освещенности; MF – коэффициент эксплуатации по действующему СП 52.13330.

Пример. Помещение размером 12×6×3 м освещается шестью светильниками типа НСП 11-200-231, имеющими кривую силы света типа «Д» и η = 0,67. Источником света служит лампа накаливания Б-215-225-200, имеющая световой поток $\Phi_Л$ = 2920 лм. Коэффициенты отражения потолка, стен и пола соответственно равны ρ = 0,7; 0,5; 0,1. Необходимо определить обеспечивает ли данная осветительная установка нормируемые параметры: освещенность $E_н$ = 75 лк и неравномерность E_{max} / E_{min} = 1,5.

Светильники располагаются в точках помещения, имеющих координаты: (2; 4,5; 3), (6; 4,5; 3), (10; 4,5; 3), (2; 1,5; 3), (6; 1,5; 3), (10; 1,5; 3) (рисунок 1.10).

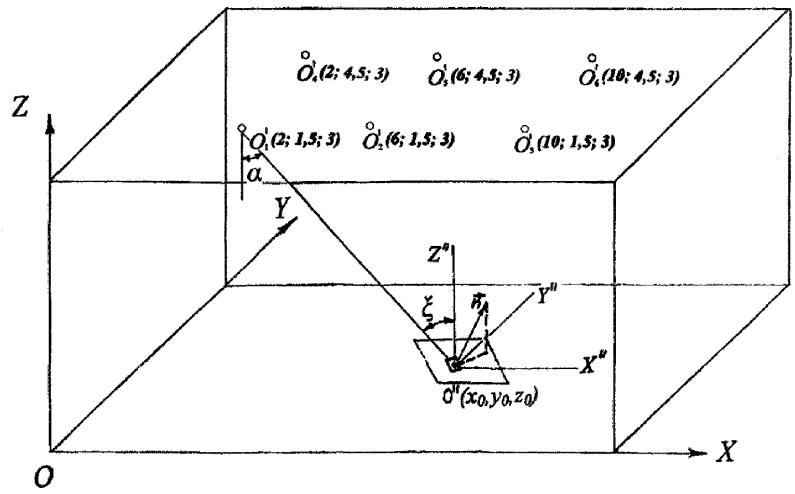


Рисунок 1.10 – К примеру расчета освещенности; ^{O} – светильник

Исходя из расположения светильников минимальные и максимальные значения освещенности могут быть в следующих контрольных точках, расположенных под светильниками, между светильниками и на пересечении диагоналей: z_1 (4; 3; 0,8), z_2 (6; 1,5; 0,8), z_3 (4; 1,5; 0,8), z_4 (1; 3; 0,8), z_5 (6; 3; 0,8).

Расчет по формуле (1.29) дает следующие значения условной горизонтальной освещенности:

$$z_1 - e_1 = 52{,}84 \text{ лк}$$

$$z_2 - e_2 = 86{,}14 \text{ лк} = e_{max}$$

$$z_3 - e_3 = 51{,}72 \text{ лк}$$

$$z_4 - e_4 = 51{,}53 \text{ лк} = e_{min}$$

$$z_5 - e_5 = 74{,}39 \text{ лк}$$

При равномерном освещении с небольшой степенью локализации согласно отраженную составляющую можно считать равномерно распределенной по площади помещения. Индекс помещения равен i = 1,3, для которого η_{ρ} = 0,33, $\eta_{ч}$ = 0,18. Отсюда отраженная составляющая освещенности равна:

$$E_0 = \frac{\eta \Phi_л (\eta_р - \eta_ч) MF}{S/N} = \frac{0{,}67 \cdot 2920 (0{,}33 - 0{,}18) 0{,}77}{(12 \cdot 6)/6} = 18{,}8 \text{лк}.$$

Минимальное значение прямой составляющей освещенности в помещении равна:

$$E_{min} = \frac{\sum e \eta_{\text{с}} \Phi_{\text{л}} MF}{1000} = \frac{51{,}53 \cdot 0{,}67 \cdot 2920 \cdot 0{,}77}{1000} = 77{,}63 \text{лк}.$$

Неравномерность распределения освещенности будет равна:

$$z' = \frac{E_{max}}{E_{min}} = \frac{e_{max}}{e_{min}} = \frac{129{,}63 + 18{,}8}{77{,}63 + 18{,}8} = 1{,}54.$$

Таким образом, данная осветительная установка удовлетворяет нормам по освещенности, но не удовлетворяет нормам неравномерности распределения освещенности.

1.5 Расчет освещенности от точечного излучателя с несимметричным светораспределением

1.5.1 Методика расчета освещенности для точечного излучателя с несимметричным светораспределением зависит от представления характеристик светораспределения светового прибора и в общем случае идентична методике расчета освещенности, изложенной в разделе 1.4 настоящего пособия.

При известном значении $I_i(\alpha,\beta)$ расчет условной освещенности следует вести по формуле:

$$e = \sum_{i=1}^{N} I_i(\alpha,\beta) \cos\xi_i / r_i^2 . \qquad (1.34)$$

Косинус угла ξ_i и r_i определяются по формулам (1.26) и (1.27), а $I_i(\alpha,\beta)$ определяется по паспортным данным и интерполяцией.

1.5.2 В других случаях кривые силы света некруглосимметричных световых приборов задаются в продольных плоскостях и в поперечных плоскостях в углах γ и ψ (рисунок 1.11).

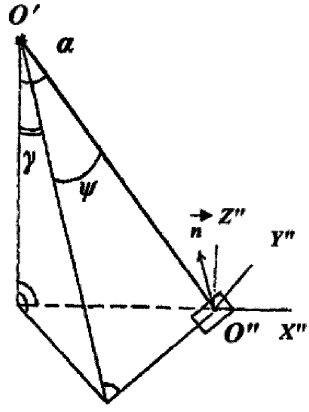


Рисунок 1.11 – К расчету освещенности от точечного источника с несимметричным светораспределением

По углу ψ они даются в пределах 0–90° при наличии двух плоскостей симметрии, в пределах 0–180° при одной плоскости симметрии и 0–360° при отсутствии плоскостей симметрии.

Условная освещенность для излучателей данного типа рассчитывается по формуле:

$$e = \sum_{i=1}^{N} \frac{I_i(\gamma,\psi)\cos\xi_1}{r_i^2}, \tag{1.35}$$

где ξ_i и r_i определяются формулами (1.26) и (1.27). В этом случае угол α между оптической осью излучателя и лучом в расчетную точку может быть представлен в виде (см. рисунок 1.11)

$$\cos\alpha = \cos\gamma\cos\psi. \tag{1.36}$$

Если в соответствии с прежними обозначениями x_i, y_i, z_i – координаты i-го светильника, а x_0, y_0, z_0 – координаты расчетной точки А, то:

$$\cos\psi_i = \frac{d_i}{r_i} = \frac{\left((y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2\right)^{1/2}}{\left((x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2\right)^{-1/2}}, \tag{1.37}$$

$$\cos\gamma_i = \frac{z_i - z_0}{\sqrt{(y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2}}. \tag{1.38}$$

Тогда для горизонтальной плоскости θ = 0°, обозначив $z_i - z_0 = h$, при $i = 1$ мы

приходим к общеизвестной из литературы формуле расчета освещенности в горизонтальной плоскости от некруглосимметричного излучателя:

$$e = \frac{I(\gamma,\psi)\cos^3\psi\cos^3\gamma}{h^2}. \quad (1.39)$$

Существует несколько распространенных типов кривой силы света некруглосимметричных излучателей.

Первый тип светораспределения подчиняется закону $I = I_0$ в поперечной плоскости и $I = I_0 \cos\gamma$ в продольной плоскости:

$$I(\gamma, \psi) = I_0 \cos\gamma, \quad (1.40)$$

тогда

$$e = \sum_{i=1}^{N} \frac{I_{0i}\cos\gamma_i \cos\xi_i}{r_i^2}. \quad (1.41)$$

Второй тип излучателей обладает светораспределением:

$$I(\gamma, \psi) = I_0 \cos n\gamma \cos\psi, \quad (1.42)$$

тогда

$$e = \sum_{i=1}^{N} \frac{I_{0i}\cos n\gamma_i \cos\psi_i \cos\xi_i}{r_i^2}. \quad (1.43)$$

Третий тип излучателей имеет светораспределение вида $I=I_0(1+\cos\gamma)/2$ в поперечной и $I = I_0 \cos\psi$ в продольной плоскости:

$$I(\gamma,\psi) = \frac{I_0}{2}(1+\cos\gamma)\cos\psi, \quad (1.44)$$

тогда

$$e = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N} \frac{I_{0i}(1+\cos\gamma_i)\cos\psi_i \cos\xi_i}{r_i^2}, \quad (1.45)$$

где $\cos\psi$, $\cos\gamma$, $\cos\xi$ определяются по формулам (1.37), (1.38) и (1.26), а r_i по формуле (1.27).

1.6 Расчет освещенности от линейных излучателей

1.6.1 За характеристику светораспределения излучателей условно принимают распределение силы света в поперечной плоскости от излучателей единичной длины, обычно l = 1 м. Распределение силы света в поперечной плоскости

(перпендикулярной оси источника) может иметь вид: $I(\gamma) = I$ – светораспределение цилиндра; $I(\gamma) = I_0 \cos\gamma$ – светораспределение полосы.

В любой продольной плоскости равнояркий линейный излучатель имеет косинусное распределение

$$I(\gamma, \psi) = I_0 \cos\gamma \cos\psi, \tag{1.46}$$

где γ – угол в поперечной плоскости (угол между двумя продольными плоскостями, одна из которых соответствует $\gamma = 0$, а другая проходит через расчетную точку O'' (x_0, y_0, z_0); φ – угол в продольной плоскости γ: между нормалью к оси излучателя и направлением падения светового луча в расчетную точку (рисунок 1.12).

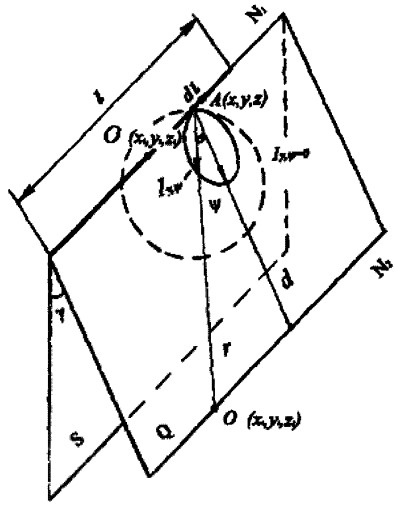


Рисунок 1.12 – К определению углов падения светового потока в расчетную точку

В других случаях светораспределение от линейного излучателя может быть представлено в виде:

$$I(\gamma, \psi) = I_0 \cos\gamma f(\psi), \tag{1.47}$$

где

$$f(\psi) = A \cos\psi + B \cos^3\psi + C \cos^5\psi. \tag{1.48}$$

1.6.2 Ориентация расчетной плоскости P в пространстве по-прежнему

задается полярным θ и азимутальным φ углами в сферической системе координат с центром в расчетной точке O'' (x_0, y_0, z_0) (рисунок 1.13). Координаты центра линейного O' (x_i, y_i, h) длиной l будем задавать в прямоугольной системе координат $OXYZ$ с центром в одном из углов помещения или строительного модуля.

В общем случае светящаяся линия может быть повернута относительно оси OX на угол δ (рисунок 1.13).

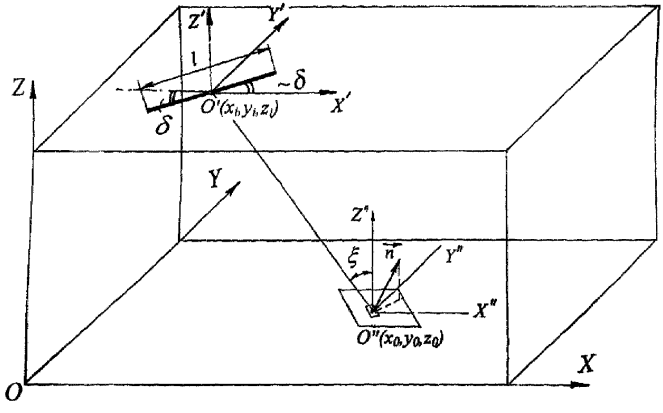


Рисунок 1.13 – К расчету освещенности от линейного излучателя

1.6.3 Прямая составляющая освещенности при светораспределении $I(\gamma) = I_0 \cos\gamma$ рассчитывается по формуле:

$$E(\theta,\varphi) = I_0 h_0 \left(\left(\sin\theta\cos\varphi\cos\delta + \sin\theta\sin\varphi\sin\delta \right) F_{1i} + \right.$$
$$\left. + \left(\left(m - l/2\cos\delta \right)\sin\theta\cos\varphi + \left(n - l/2\sin\delta \right)\sin\theta\sin\varphi + h_0\cos\theta \right) F_{2i} \right), \quad (1.49)$$

где $m' = m\cos\delta + n\sin\delta$; $n' = m\sin\delta - n\cos\delta$;

$$m = x_i - x_0;\ n = y_i - y_0;\ h_0 = z_i - z_0,$$

$$F_{1i} = \frac{1}{2\left(n'^2 + h_0^2\right)} \left[1 - \frac{(m' - l/2)(m' + l/2) + n' + h_0}{(m' + l/2)^2 + n'^2 + h_0^2} + \right.$$
$$\left. + \frac{m' - l/2}{\sqrt{n'^2 + h_0^2}} \left(arctg \frac{m' - l/2}{\sqrt{n'^2 + h_0^2}} - arctg \frac{m' + l/2}{\sqrt{n'^2 + h_0^2}} \right) \right], \quad (1.50)$$

$$F_{2i} = \frac{1}{2\left(n'^2 + h_0^2\right)} \left[\frac{m' + l/2}{(l/2 + m')^2 + n'^2 + h_0^2} - \frac{m' - l/2}{(m - l/2)^2 + n'^2 + h_0^2} + \right.$$
$$\left. + \frac{1}{\sqrt{n'^2 + h_0^2}} \left(arctg \frac{m' + l/2}{\sqrt{n'^2 + h_0^2}} - arctg \frac{m' + l/2}{\sqrt{n'^2 + h_0^2}} \right) \right]. \quad (1.51)$$

Если δ = 0, то формула для расчета освещенности принимает вид:

$$E_i(\theta,\varphi) = I_0 h_0 \left((\sin\theta\cos\varphi F_{1i}) + \left((m - l/2)\sin\theta\cos\varphi + h\sin\theta\sin\varphi + h_0\cos\theta \right) F_{2i} \right). \quad (1.52)$$

Значения F_{1i} и F_{2i} рассчитываются по формулам (1.50) и (1.51) при $m' = m$ и $n' = n$.

Выражения (1.49) – (1.51) описывают освещенность поверхности ориентированной углами θ и φ в световом поле линейного излучателя, имеющего светораспределения $I(\gamma, \psi) = I_0 \cos\gamma \cos\psi$.

Если светильники располагаются поперек помещения, то δ = π/2 в формулах (1.50) и (1.51) принимаем $m' = n$ и $n' = m$, и таким образом, m^2 и n^2 меняются местами.

1.6.4 Для горизонтальной плоскости θ = 0° и формула для расчета освещенности имеет вид:

$$E_i = I_0 h_0^2 F_{2i}. \quad (1.53)$$

Кроме того, при $m' = m = x_i - x_0 = l/2$ как частный случай получаем общеизвестную формулу, справедливую для светораспределения $I_\gamma = I_0 \cos\gamma = I_0 h_0 / \sqrt{\left(n^2 + h_0^2\right)}$:

$$E_i = \frac{I_0 h_0^2}{2\left(n^2 + h_0^2\right)^{3/2}} \left(\frac{l\sqrt{n^2 + h_0^2}}{l^2 + n^2 + h_0^2} + arctg \frac{l}{\sqrt{n^2 + h_0^2}} \right) = \frac{I_0 h_0 \cos\gamma}{2\left(n^2 + h_0^2\right)} f'(h_0, l, n). \quad (1.54)$$

При расчете освещенности от реальных светильников делается допущение, что в продольных плоскостях светораспределение является косинусным, а в поперечной плоскости задается паспортной кривой $I_\gamma = f(\gamma)$. В этом случае формула (1.54) для расчета освещенности будет иметь вид:

$$E_i = \frac{I_\gamma h_0^2}{2\left(n^2 + h_0^2\right)^{3/2}} \left(\frac{l\sqrt{n^2 + h_0^2}}{l^2 + n^2 + h_0^2} + arctg \frac{l}{\sqrt{n^2 + h_0^2}} \right) = \frac{I_0 h_0}{2\left(n^2 + h_0^2\right)} f'(h_0, l, n). \quad (1.55)$$

Пример. Помещение размером 6×3×3,5 м с коэффициентами отражения потолка, стен и пола 0,7; 0,5; 0,3 освещается светильником с одной люминесцентной лампой типа ЛБ 58, центр которой располагается в точке (3; 1,5; 3,5). Необходимо определить освещенность и неравномерность распределения освещенности в помещении. Источник света ЛБ 58 имеет световой поток $\Phi_л$ = 4800 лм, длину $l_л$ =

1500 мм. Коэффициент полезного действия светильника в нижнюю полусферу $\eta = \eta_{\cup} = 70\%$.

Принимая светильник за светящую линию определим силу света с единицы длины в плоскости перпендикулярной оси лампы:

$$I_{\gamma} = \Phi_{л}\eta / \pi^2 l_{a} = 4800 \cdot 0{,}70/(3{,}14^2 \cdot 1{,}5) = 227 кд$$

Прямая составляющая освещенности в контрольных точках, рассчитанная по формулам (1.53) и (1.54), равна:

$$z_1\ (1;\ 0{,}75;\ 0{,}8) = 18{,}4\ лк = (E_{min})_n,$$

$$z_2\ (3;\ 1{,}5;\ 0{,}8) = 50{,}2\ лк = (E_{max})_n.$$

Расчет отраженной составляющей освещенности приводится в соответствии с подразделом 1.8.

В данном случае прямая и отраженная составляющие освещенности распределены с одинаковой степенью неравномерности. Учитывая, что индекс данного помещения $i = 0{,}57$, значения коэффициентов использования для указанного помещения согласно справочной литературе $\eta_{\rho} = 0{,}28$; $\eta_{ч} = 0{,}16$.

Окончательно получаем значения освещенностей:

$$E_{\min} = (E_{\min})_{n} \frac{\eta_{\rho}}{\eta_{ч}} = 18{,}4 \frac{28}{16} = 32{,}2\ лк,$$

$$E_{\max} = (E_{\max})_{n} \frac{\eta_{\rho}}{\eta_{ч}} = 50{,}2 \frac{28}{16} = 87{,}7\ лк.$$

Неравномерность распределения освещенности составит

$$z' = \frac{E_{\max}}{E_{\min}} = \frac{87{,}8}{32{,}2} = 2{,}72.$$

1.7 Расчет освещенности от прямоугольных поверхностных излучателей равномерной яркости

1.7.1 Из всевозможных форм и светораспределений поверхностных излучателей в практических случаях наиболее часто встречаются прямоугольные излучатели, яркость которых в первом приближении может считаться равномерной. Это относится к светильникам с люминесцентными лампами, имеющими

прямоугольное выходное отверстие, перекрытое светотехническим молочным (рассеивающим) оргстеклом. Светильники такого типа используются для освещения общественных производственных зданий. Поверхностные излучатели треугольной, круглой и более сложных форм используются редко, в основном, в области архитектурного освещения в индивидуальных проектах. В дальнейшем остановимся на решении задачи об определении освещенности произвольно ориентированной плоскости, помещенной в расчетную точку в световом поле равнояркого прямоугольного излучателя.

1.7.2 Ориентация расчетной плоскости в пространстве по-прежнему задается полярным θ и азимутальным φ углами в сферической системе координат с центром в расчетной точке $O''r\theta\varphi$ (рисунок 1.14). Координаты излучателя $O'(x_i, y_i, z_i)$ будем задавать в прямоугольной системе координат $OXYZ$, расположенной в одном из углов помещения или строительного модуля, как это показано на рисунке 1.14. При этом высоту подвеса излучателя считаем неизменной $z_i = h$.

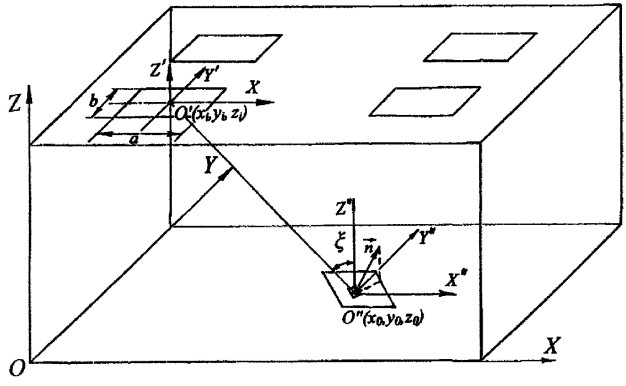


Рисунок 1.14 – К расчету освещенности от прямоугольного излучателя

1.7.3 Освещенность в точке $O''(x_0, y_0, z_0)$ в плоскости P определяется по формуле:

$$E_i = L(h - z_0)\left(F_{1i}\sin\theta\cos\varphi + F_{2i}\sin\theta\sin\varphi + (h - z_0)F_{3i}\cos\theta\right). \qquad \text{(Б.56)}$$

Коэффициенты F_{1i}, F_{2i}, F_{3i} определяются по формулам:

$$F_{1i}=\frac{1}{2}\left[\frac{1}{\sqrt{(m-a/2)^2+h_0^2}}\left(arctg\frac{n+b/2}{\sqrt{(m-a/2)^2+h_0^2}}-arctg\frac{n-b/2}{\sqrt{(m-a/2)^2+h_0^2}}\right)-\right.$$
$$\left.-\frac{1}{\sqrt{(m+a/2)^2+h_0^2}}\left(arctg\frac{n+b/2}{\sqrt{(m+a/2)^2+h_0^2}}+arctg\frac{n-b/2}{\sqrt{(m+a/2)^2+h_0^2}}\right)\right], \quad (Б.57)$$

$$F_{2i}=\frac{1}{2}\left[\frac{1}{\sqrt{(n-b/2)^2+h_0^2}}\left(arctg\frac{m+a/2}{\sqrt{(n-b/2)^2+h_0^2}}-arctg\frac{m-a/2}{\sqrt{(n-b/2)^2+h_0^2}}\right)-\right.$$
$$\left.-\frac{1}{\sqrt{(n+b/2)^2+h_0^2}}\left(arctg\frac{m+a/2}{\sqrt{(n+b/2)^2+h_0^2}}+arctg\frac{m-a/2}{\sqrt{(n-b/2)^2+h_0^2}}\right)\right], \quad (Б.58)$$

$$F_{3i}=\frac{1}{2h_0^2}\left[\frac{n+b/2}{\sqrt{(n+b/2)^2+h_0^2}}\left(arctg\frac{m+b/2}{\sqrt{(n+b/2)^2+h_0^2}}-arctg\frac{m-b/2}{\sqrt{(n+b/2)^2+h_0^2}}\right)-\right.$$
$$-\frac{n-b/2}{\sqrt{(n-b/2)^2}}\left(arctg\frac{m+a/2}{\sqrt{(n-b/2)^2+h_0^2}}-arctg\frac{m-a/2}{\sqrt{(n-b/2)^2+h_0^2}}\right)+$$
$$+\frac{m+a/2}{\sqrt{(m+a/2)^2+h_0^2}}\left(arctg\frac{n+b/2}{\sqrt{(m+a/2)^2+h_0^2}}-arctg\frac{n-b/2}{\sqrt{(m+a/2)^2+h_0^2}}\right)-$$
$$\left.-\frac{m-a/2}{\sqrt{(m-a/2)^2+h_0^2}}\left(arctg\frac{n+b/2}{\sqrt{(m-a/2)^2+h_0^2}}-arctg\frac{n-b/2}{\sqrt{(m-a/2)^2+h_0^2}}\right)\right], \quad (1.59)$$

где $m = x_i - x_0$; $n = y_i - y_0$; $h_0 = z_i - z_0$.

Если прямоугольный излучатель повернут на угол α относительно оси Ox, то в формулах (1.56) – (1.59):

$$m = (x_i - x_0)\cos\alpha + (y_i - y_0)\sin\alpha;$$

$$n = (x_i - x_0)\sin\alpha + (y_i - y_0)\cos\alpha.$$

Формулы (1.56) – (1.59) позволяют рассчитывать освещенность в плоскости, ориентированной полярным θ и азимутальными φ углами, в световом поле равнояркого прямоугольного излучателя.

Все остальные формулы для расчета освещенности вытекают как частные случаи из выражений (1.56) – (1.59). Так, в случае расчета освещенности от светящего прямоугольника, плоскость которого параллельна расчетной плоскости: $m = a/2$; $n = b/2$; $\theta = 0$, и получается формула Ратнера:

$$E_i=\frac{L}{2}\left[\frac{b}{\sqrt{b^2+h_0^2}}arctg\frac{a}{\sqrt{b^2+h_0^2}}-\frac{a}{\sqrt{a^2+h_0^2}}arctg\frac{b}{\sqrt{a^2+h_0^2}}\right]. \quad (1.60)$$

При $\theta = \pi/2$; $\varphi = 0$; $m = a/2$; $n = b/2$ имеем случай светящего прямоугольника,

плоскость которого перпендикулярна расчетной плоскости, и получаем другую формулу Ратнера:

$$E_i = \frac{L}{2}\left[arctg\frac{b}{h_0} - \frac{h}{\sqrt{a^2+h_0^2}} arctg\frac{b}{\sqrt{a^2+h_0^2}} \right]. \qquad (1.61)$$

Пример. Помещение 6×4×3 м освещается светильниками, имеющими размер a = 1,2 м и b = 0,5 м и среднюю габаритную яркость L = 6000 кд/м^2. Геометрические центры светильников расположены в точках (1,5; 1; 3), (4,5; 1; 3), (1,5; 3; 3), (4,5; 3; 3). Определить прямую составляющую освещенности и неравномерность распределения освещения по помещению на уровне условной рабочей поверхности (0,8 м от пола).

Освещенность в контрольных точках равна:

$$E = \sum_{i=1}^{4} L(h - z_0) F_{3i} ;$$

- в точке 1 с координатами (3; 2; 0,8) E_1 = 452 лк;
- в точке 2 с координатами (1,5; 1; 0,8) E_2 = 474 лк;
- в точке 3 с координатами (1; 2; 0,8) E_3 = 432 лк.

Неравномерность распределения освещенности будет равна:

$$z' = \frac{E_{max}}{E_{min}} = \frac{474}{432} = 1,097 .$$

1.8 Учет отраженной составляющей освещенности

1.8.1 При высоких коэффициентах отражения потолка, стен, пола, а также в тех случаях, когда светильники не относятся к классу прямого света, при точечном методе расчета необходимо учитывать отраженную составляющую освещенности. В данном случае удобно воспользоваться известными приближенными решениями.

1.8.2 При равномерном освещении или при небольшой степени локализации отраженную составляющую можно считать равномерно распределенной по площади помещения, равной

$$E_0 = \frac{(\eta_p - \eta_u)\Phi N}{S}, \qquad (1.62)$$

где η_ρ – коэффициент использования при заданных значениях коэффициентов отражения потолка, стен, расчетной поверхности или пола $\rho_п$, $\rho_с$, $\rho_р$; $\eta_ч$ – коэффициент использования черного помещения $\rho_п = \rho_с = \rho_р = 0$; $Ф$ – световой поток источника света с учетом КПД светильника.

При расчете осветительной установки на нормируемую освещенность с учетом отраженной составляющей в формулу (1.62) вводится коэффициент эксплуатации:

$$E_0 = \frac{(\eta_р - \eta_ч)Ф \cdot N \cdot MF}{S}. \quad (1.63)$$

1.8.3 В случае сильно выраженной локализации освещения допустимо считать, что прямая и отраженная составляющие освещенности распределены с одинаковой степенью неравномерности. В этом случае суммарная освещенность умножается на коэффициент $\chi = \frac{\eta_\rho}{\eta_ч}$:

$$E = \sum_{i=1}^{i=N} E_i \chi. \quad (1.64)$$

1.9 Расчет средней освещенности методом коэффициента использования светового потока

1.9.1 Коэффициент использования $U_{оу}$ определяется как отношение светового потока, падающего на расчетную плоскость, к световому потоку источников света. Он зависит от светораспределения светильников и их размещения в помещении; от размеров освещаемого помещения и отражающих свойств его поверхностей; от отражающих свойств рабочей поверхности.

Требуемый световой поток ламп в каждом светильнике находится по формуле:

$$Ф_л = \frac{E_н Sz}{nU_{оу}MF}, \quad (1.65)$$

где $E_н$ – нормируемое значение освещенности; MF – коэффициент эксплуатации по СП 52.13330; S – освещаемая площадь; $z = E_{ср} / E_{мин}$; $E_{ср}$, $E_{мин}$ – среднее и

минимальное значения освещенности; n – число светильников; U_{oy} – коэффициент использования светового потока.

Входящий в формулу (1.65) коэффициент z характеризует неравномерность освещения. В наибольшей степени z зависит от отношения расстояния между светильниками к расчетной высоте (L / h_p). При L / h_p, не превышающем рекомендуемых значений ($L \le h_p$), принимается z = 1,15 для ЛН и ДРЛ и z = 1,10 для люминесцентных ламп при расположении светильников в виде светящихся линий. Для отраженного освещения принимается z = 1,0; при расчете на среднюю освещенность z не учитывается.

1.9.2 Соотношение размеров освещаемого помещения и высота подвеса светильников в нем характеризуются индексом помещения:

$$i_n = \frac{AB}{h_p(A+B)}, \qquad (1.66)$$

где A – длина помещения; B – его ширина; h_p – расчетная высота подвеса светильников.

Упрощенно индекс помещений может быть определен с помощью таблиц 1.3 и 1.4.

Таблица 1.3 – Индекс помещения i_n при $A/B \le 3$

Площадь помещения S, м^2	Значение i_n при расчетной высоте h_p, м равной														
	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
10	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	0,9	0,8	0,76	0,76	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-
20	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-	-
25	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-
30	1,2	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	-	-	-	-	-
40	1,5	1,5	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	-	-	-	-
50	1,7	1,5	1,2	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	-	-	-
60	1,7	1,7	1,5	1,5	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	-	-	-
70	2,0	1,7	1,5	1,5	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	-	-
80	2,25	2,0	1,7	1,5	1,5	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	-	-
90	2,2	2,0	1,7	1,5	1,5	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5	-
100	2,5	2,2	2,0	1,7	1,5	1,5	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	-
120	2,5	2,2	2,0	2,0	1,7	1,5	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
150	3,0	2,5	2,2	2,2	2,0	1,7	1,5	1,2	1,1	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
200	3,5	3,0	2,5	2,5	2,2	2,0	1,7	1,5	1,25	1,25	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7
250	4,0	3,5	3,0	3,0	2,5	2,2	2,0	1,7	1,5	1,5	1,25	1,1	1,0	0,9	0,8
300	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,2	2,0	1,7	1,75	1,5	1,25	1,1	1,0	0,9	0,8
350	4,0	4,0	3,5	3,5	3,0	2,5	2,2	2,0	1,75	1,75	1,5	1,25	1,1	1,0	0,9

Площадь помещения S, м^2	Значение i_n при расчетной высоте h_p, м равной														
	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
400	5,0	4,0	4,09	3,5	3,0	2,5	2,5	2,25	2,0	1,75	1,5	1,25	1,25	1,1	1,0
450	5,0	5,0	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,2	2,0	1,75	1,75	1,5	1,25	1,1	1,0
500	-	5,0	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0	1,75	1,5	1,25	1,2	1,1
600	-	-	5,0	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,25	2,0	2,0	1,75	1,5	1,2	1,1
700	-	-	5,0	5,0	4,0	3,5	3,0	3,0	2,50	2,25	2,0	1,75	1,5	1,5	1,25
800	-	-	-	5,0	5,0	4,0	3,5	3,0	2,50	2,50	2,25	2,0	1,75	1,5	1,25
900	-	-	-	-	5,0	4,0	3,5	3,0	3,0	2,5	2,25	2,0	1,75	1,5	1,5
1000	-	-	-	-	5,0	4,0	4,0	3,5	3,0	3,0	2,5	2,25	2,0	1,7	1,5
1200	-	-	-	-	-	5,0	4,0	3,5	3,5	3,0	2,5	2,25	2,0	1,7	1,75
1400	-	-	-	-	-	5,0	4,0	4,0	3,5	3,5	3,0	2,5	2,25	2,0	1,75
1600	-	-	-	-	-	-	5,0	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0
1800	-	-	-	-	-	-	5,0	5,0	4,0	3,5	3,5	3,0	2,5	2,2	2,0
2000	-	-	-	-	-	-	-	5,0	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,25
2500	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5
3000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5
3500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0	5,0	4,0	3,5	3,0	3,0
4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0	4,0	4,0	3,5	3,0
4500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0	4,0	3,5	3,0
5000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0	4,0	4,0	3,5
6000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0	4,0	3,5
7000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0	4,0	4,0
8000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0	4,0
9000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0	4,0
10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0

Таблица 1.4 – Индекс помещения i_n, при $A/B > 3$

A/B	Значение i_n при расчетной высоте h_p, м.																
	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	5,0
3 – 4	-	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
5 – 6	-	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,1	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	3,0	4,0
7 – 9	-	-	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	1,0	1,1	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	3,5
10	-	-	-	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,25	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0
15	-	-	-	-	0,5	0,5	0,6	0,6	0,8	0,1	1,0	1,1	1,95	1,5	1,75	2,0	2,5
20	-	-	-	-	-	-	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,25	1,5	1,75	2,25
30	-	-	-	-	-	-	-	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,25	1,5	1,75
40 – 50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,25	1,5

Индекс помещения i_n находится по известной площади помещения S и высоте подвеса светильника h_p по таблице 1.3 при $A/B \leq 3$. Для удлиненных помещений (когда $A/B > 3$), i_n определяется по таблице 1.4.

1.9.3 Коэффициенты отражения поверхностей помещения: потолка ρ_n и стен

ρ_c – можно приближенно оценить по таблице 1.5. Коэффициент отражения расчетной поверхности или пола как правило принимается $\rho_p = 0{,}1$.

Таблица 1.5 – Ориентировочные значения коэффициентов отражения стен и потолка

Отражающая поверхность	Коэффициент отражения, %
Побеленный потолок; побеленные стены с окнами, закрытыми белыми шторами	70
Побеленные стены при незанавешенных окнах; побеленный потолок в сырых помещениях; чистый бетонный и светлый деревянный потолок	50
Бетонный потолок в грязных помещениях; деревянный потолок; бетонные стены с окнами; стены, оклеенные светлыми обоями	30
Стены и потолки в помещениях с большим количеством темной пыли; сплошное остекление без штор; красный кирпич неоштукатуренный; стены с темными обоями	10

1.9.4 Коэффициент использования U_{oy} определяется по найденным значениям индекса помещения i_n и коэффициентов отражения ρ_n, ρ_c и ρ_p для выбранного типа светильников. Значения коэффициентов использования для светильников с типовыми кривыми силами света приведены в таблице 1.6.

В тех случаях, когда в таблицах отсутствуют данные о коэффициенте использования светильников, например, новых модификаций, эти коэффициенты приближенно могут быть определены следующим путем: по форме кривой силы света в нижней полусфере определяется ее тип, по каталожным данным светильника определяются (в процентах потока лампы) потоки нижней $\Phi_{\cup}$ и верхней $\Phi_{\cap}$ полусфер; первый умножается на коэффициент использования по таблице 1.7, второй – по таблице 1.8. Сумма произведений дает общий полезный поток, делением которого на поток лампы (обычно 1000 лм) находится коэффициент использования

Таблица 1.6 – Коэффициент использования светильников с типовыми кривыми силами света $U_{оу}$

Тип КСС	Значение $U_{оу}$, %																							
	при $\rho_п = 0{,}7$; $\rho_с = 0{,}5$; $\rho_р = 0{,}3$ и $i_п$, равном						при $\rho_п = 0{,}7$; $\rho_с = 0{,}5$; $\rho_р = 0{,}1$ и $i_п$, равном						при $\rho_п = 0{,}7$; $\rho_с = 0{,}3$; $\rho_р = 0{,}1$ и $i_п$, равном						при $\rho_п = \rho_с = 0{,}5$; $\rho_р = 0{,}3$ и $i_п$, равном					
	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5
М	35	50	61	73	83	95	34	47	56	66	75	86	26	36	46	56	67	80	32	45	55	67	74	84
Д-1	36	50	58	72	81	90	36	47	56	63	73	79	28	40	49	59	68	74	36	48	57	66	76	85
Д-2	44	52	68	84	93	103	42	51	64	75	84	92	33	43	56	74	80	76	42	51	65	71	90	85
Г-1	49	60	75	90	101	106	48	57	71	82	89	94	42	52	69	78	73	76	45	56	65	78	76	84
Г-2	58	68	82	96	102	109	55	64	78	86	92	96	48	60	73	84	90	94	55	66	80	92	96	103
Г-3	64	74	85	95	100	105	62	70	79	80	90	93	57	66	76	84	84	91	63	72	83	91	96	100
К-1	74	83	90	96	100	106	69	76	83	88	91	92	65	73	81	86	89	90	70	78	86	92	96	100
К-2	75	84	95	104	108	115	71	78	87	95	97	100	67	75	84	93	97	100	72	80	91	99	103	108
К-3	76	85	96	106	110	116	73	80	90	94	99	102	68	77	86	95	98	101	74	83	93	101	106	170
Тип КСС	Значение $U_{оу}$, %																							
	при $\rho_п = \rho_с = 0{,}5$; $\rho_р = 0{,}1$ и $i_п$, равном						при $\rho_п = 0{,}5$; $\rho_с = 0{,}3$; $\rho_р = 0{,}1$ и $i_п$, равном						при $\rho_п = 0{,}3$; $\rho_с = \rho_р = 0{,}1$ и $i_п$, равном						при $\rho_п = \rho_с = \rho_р = 0$ и $i_п$, равном					
	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5
Л	32	49	59	71	83	91	31	46	55	65	74	83	24	40	50	62	71	77	32	47	57	69	79	90
М	31	43	53	63	72	80	23	36	45	56	65	75	17	29	38	46	58	67	16	28	38	45	55	65
Д-1	34	47	54	63	70	77	27	40	48	55	65	73	27	35	42	52	61	68	21	33	40	49	58	66
Д-2	40	48	61	74	82	84	33	42	52	69	75	86	28	36	48	63	75	81	25	33	47	61	70	78
Г-1	44	53	69	77	83	80	41	48	64	76	70	88	35	45	60	73	68	77	34	44	56	71	68	74
Г-2	53	63	76	85	90	94	48	58	72	83	86	93	43	54	68	79	85	90	43	53	66	77	82	86
Г-3	61	68	78	84	88	91	57	65	75	83	86	90	53	62	73	80	84	86	53	61	71	78	82	85
К-1	68	77	83	86	89	90	64	73	80	86	88	90	62	71	77	83	86	88	60	69	77	84	85	86
К-2	71	78	87	93	98	99	68	74	84	92	93	99	68	72	80	89	93	97	65	71	79	88	92	95
К-3	72	79	88	94	97	99	68	76	85	93	95	99	64	73	83	90	94	97	64	72	81	88	91	94
Л	30	45	55	65	70	78	24	40	49	60	70	76	20	35	44	48	65	69	17	33	42	53	63	70
Л-Ш	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	26	35	47	58	68
Ш	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	17	25	36	49	62

Таблица 1.7 – Коэффициент использования светового потока светильников с типовыми кривыми силы света, излучаемого в нижнюю полусферу

Типовая КСС	Равномерная М								Конусная Л								Глубокая Г							
ρ_n %	70				50		30	0	70				50		30	0	70				50		30	0
ρ_c %	50		30		50	30	10	0	50		30		50	30	10	0	50		30		50	30	10	0
ρ_p %	30	10	30	10	10		10	0	30	10	30	10	10		10	0	30	10	30	10	10		10	0
Значение i_n:	Коэффициент использования, %																							
0,5	28	28	21	21	25	19	15	13	36	35	30	30	34	28	25	22	58	57	55	53	57	53	49	47
0,6	35	34	27	26	31	24	18	17	43	42	35	34	40	33	28	27	68	65	62	60	64	60	57	56
0,7	44	39	32	31	39	31	25	24	48	47	41	38	45	38	33	31	74	69	68	64	69	64	61	61
0,8	49	46	38	36	43	36	29	28	54	51	45	43	49	43	37	36	78	73	72	69	72	69	66	64
0,9	51	48	40	39	46	39	31	30	57	55	48	46	52	46	41	39	81	76	75	72	75	72	70	67
1,0	54	50	43	41	48	41	34	32	60	57	52	50	55	49	45	42	84	78	78	75	77	74	72	70
1,1	56	52	46	43	50	43	35	33	64	60	55	52	58	51	47	44	87	81	80	77	79	76	74	72
1,25	59	55	49	46	53	45	38	35	69	63	60	56	61	55	50	48	90	83	84	79	82	79	76	75
1,50	64	59	53	50	56	49	42	39	75	69	67	62	67	61	55	53	94	86	88	83	85	82	79	78
1,75	68	62	57	53	60	53	45	42	79	72	71	66	70	65	60	57	97	88	92	85	86	85	82	80
2,0	73	65	61	56	63	56	48	45	83	75	75	69	73	68	64	61	99	90	95	88	88	87	84	82
2,25	76	68	65	60	66	59	51	48	86	77	79	73	76	71	66	64	101	92	97	90	90	88	85	83
2,5	79	70	68	63	68	61	54	51	89	80	82	75	78	73	69	66	103	93	99	91	91	89	87	85
3,0	83	75	73	67	72	65	58	55	93	83	86	79	81	77	73	71	105	94	102	92	93	91	89	86
3,5	87	78	77	70	75	68	61	59	96	86	90	82	83	80	76	73	107	95	104	94	94	93	90	88
4,0	91	80	81	73	78	72	65	62	99	88	93	84	85	83	79	76	109	96	105	94	94	94	91	89
5,0	95	83	86	77	80	75	69	65	105	90	98	88	88	85	81	79	111	97	108	96	96	95	92	90

Таблица 1.8 – Коэффициент использования светового потока светильников (любого типа), излучаемого в верхнюю полусферу

Светильники	Потолочные							Подвесные						
ρ_n %	70				50		30	70				50		30
ρ_c %	50		30		50	30	10	50		30		50	30	10
ρ_p %	30	10	30	10	10		10	30	10	30	10	10		10
Значение i_n:	Коэффициент использования, %													
0,5	26	25	20	19	17	13	6	19	18	15	14	11	9	4
0,6	30	28	24	23	20	16	8	21	22	18	18	14	11	5
0,7	34	32	28	27	22	19	10	27	26	22	21	16	13	6
0,8	38	36	31	30	24	21	11	31	29	25	25	18	16	7
0,9	40	38	34	33	26	23	12	34	32	28	28	20	18	8
1,0	43	41	37	35	28	25	13	37	35	32	30	22	20	9
1,1	46	43	39	37	30	26	14	40	37	34	33	24	21	11
1,25	49	46	42	40	32	28	15	43	41	38	36	26	24	12
1,5	54	49	47	44	34	31	17	48	44	42	40	29	26	14
1,75	57	52	51	47	36	33	18	52	48	46	43	31	29	15

Светильники	Потолочные							Подвесные						
$\rho_п$ %	70				50		30	70				50		30
$\rho_с$ %	50		30		50	30	10	50		30		50	30	10
$\rho_р$ %	30	10	30	10	10		10	30	10	30	10	10		10
2,0	60	54	54	50	38	35	19	55	50	50	46	33	31	16
2,25	62	56	57	52	39	37	20	58	52	53	49	35	33	17
2,5	64	58	59	54	40	38	21	60	54	55	51	36	34	18
3,0	68	60	63	57	42	40	22	64	57	59	54	39	36	20
3,5	70	62	66	59	43	41	23	67	60	62	56	40	39	21
4,0	72	64	68	61	45	42	24	69	61	65	58	42	40	22
5,0	75	66	72	64	46	44	25	73	64	69	62	44	42	24

1.9.5 Расчет средней освещенности помещения методом коэффициента использования проводится в следующей последовательности:

- определяется h_p, тип и число светильников n в помещении, как указывалось выше;

- по таблицам СП 52.13330 находятся коэффициент эксплуатации *MF*; поправочный коэффициент *z*; нормированную освещенность $E_н$ определяют по СП 52.13330; определяется индекс помещения i_n по таблицам 1.3 и 1.4;

- определяется коэффициент использования светового потока ламп $U_{оу}$;

- по формуле (1.65) находится необходимый световой поток ламп в одном светильнике;

- выбирается лампа с близким по величине световым потоком.

1.9.6 Световой поток светильника при выбранных лампах не должен отличаться от $Ф_л$ больше чем на величину (–10 ÷ +20)%. В случае невозможности выбора ламп с таким приближением корректируется число светильников *n* либо высота подвеса светильников h_p.

1.9.7 Расчет люминесцентного освещения начинается с выбора числа рядов светильников *N*, которые подставляются в формулу (1.65) вместо *n*. Первоначально определяется световой поток $Ф_л$ от ряда светильников. Число светильников в ряду определяется как:

$$n = Ф_л / Ф_1, \qquad (1.67)$$

где $Ф_1$ – световой поток одного светильника.

Суммарная длина *n* светильников сопоставляется с длиной помещения, причем возможны следующие случаи:

1. Суммарная длина светильников превышает длину помещения: необходимо или применить более мощные лампы (у которых световой поток на единицу длины больше), или увеличить число рядов, или компоновать ряды из сдвоенных, строенных светильников.

2. Суммарная длина светильников равна длине помещения: задача решается установкой непрерывного ряда светильников.

3. Суммарная длина светильников меньше длины помещения: принимается ряд с равномерно распределенными вдоль него разрывами λ между светильниками.

Из нескольких возможных вариантов на основе технико-экономических соображений выбирается наилучший.

Рекомендуется, чтобы λ не превышала 0,5 расчетной высоты (кроме многоламповых светильников в помещениях общественных и административных зданий).

При заданном световом потоке ряда светильников $\Phi_л$ формула (1.65) решается относительно *N*.

Пример. В помещении габаритами 20 × 10 м, с индексом $i_п$ = 1,25 установлены три продольных ряда светильников ЛСП02 (КСС типа Д-2) с лампами ЛБ и требуется обеспечить E = 300 лк при MF = 0,67. Задано $\rho_п$ = 50 %, $\rho_с$ = 30 %, $\rho_р$ = 10 % и z = 1,15. В таблице 1.8 этим условиям соответствует $U_{оу}$ = 0,52. Световой поток ламп одного ряда светильников:

$$\Phi_л = \frac{300 \cdot 200 \cdot 1{,}15}{3 \cdot 0{,}52 \cdot 0{,}67} = 66016 \text{ лм}$$

Если применить светильники с лампами 2 × 40 Вт (с общим световым потоком 6300 лм), то в ряду необходимо установить 66016 : 6300 ≈ 11 светильников; если же светильники с лампами 2 × 65 Вт (с потоком 9600 лм), в ряду необходимы 7 светильников. Так как длина помещения не менее 20 м, то в обоих случаях светильники вмещаются в ряд. Некоторые преимущества имеет первый вариант, при котором разрывы между светильниками меньше.

1.10 Расчет освещенности методом удельной мощности

1.10.1 Удельная мощность осветительной установки определяется как частное от деления общей мощности установленных в помещении ламп на площадь помещения (Вт/м^2).

$$W = P_л\, n / S, \tag{1.68}$$

где $P_л$ – мощность одной лампы, Вт; n – число ламп; S – площадь помещенья, м^2.

Формула (6.4) может быть получена путем преобразования формулы (1.65), если ввести в нее следующие величины: W – удельную мощность, Вт/м^2; η – световую отдачу, лм/Вт. Учитывая, что $Ф_л = η\, P_л$, формулу (1.65) приводим к виду:

$$Ф_л = \eta P_л = \frac{E_н\, Sz}{nU_{оу}MF}, \tag{1.69}$$

откуда

$$P_л = \frac{E_н\, Sz}{nU_{оу}\eta MF}. \tag{1.70}$$

Подставляя полученное выражение для $P_л$ в формулу (1.68), находим выражение для удельной мощности:

$$W = \frac{E_н\, z}{\eta U_{оу}MF}. \tag{1.71}$$

Такая форма записи удельной мощности показывает, что W зависит от тех же показателей, которые оказывают влияние на коэффициент использования $U_{оу}$. В таблицах 1.9 – 1.11 приводятся данные об удельной мощности для светильников прямого сета с типовыми кривыми силами света.

Таблица 1.9 – Удельная мощность общего равномерного освещения светильниками с ЛН мощностью 60 Вт

h, м	S, м^2	Удельная мощность W, Вт/м^2, светильников с КСС. Освещенность 100 лк; условный КПД = 100 %; $ρ_п$ = 0,5; $ρ_с$ = 0,3; $ρ_р$ = 0,1; MF = 0,77; z = 1,15					
		Д-1	Д-2	Д-3	Г-1	Г-2	Г-3
1,5 – 2,0	10 – 15	24,6	23,5	23,0	19,8	17,4	16,9
	15 – 25	23,9	21,5	20,1	17,6	15,8	15,6
	25 – 50	21,1	19,5	17,6	15,8	14,7	14,4
	50 – 150	17,8	16,2	15,3	14,1	13,3	13,2
	150 – 300	16,2	15,1	14,4	13,6	13,1	13,1
	Свыше 300	15,4	14,4	13,6	13,2	12,8	12,8
2,0 – 3,0	10 – 15	34,2	30,2	28,8	23,9	20,8	20,1
	15 – 25	27,5	24,4	24,4	20,8	18,1	17,6

h, м	S, м^2	Удельная мощность W, Вт/м^2, светильников с КСС. Освещенность 100 лк; условный КПД = 100 %; $\rho_п$ = 0,5; $\rho_с$ = 0,3; $\rho_р$ = 0,1; MF = 0,77; z = 1,15					
		Д-1	Д-2	Д-3	Г-1	Г-2	Г-3
	25 – 50	24,4	21,8	20,8	18,1	16,2	15,2
	50 – 150	20,1	18,1	16,4	15,1	14,2	13,9
	150 – 300	17,6	16,0	15,3	13,9	13,3	13,3
	Свыше 300	15,4	14,4	13,6	13,2	12,8	12,8
3,0 – 4,0	10 – 15	60,3	48,7	39,6	31,7	26,4	25,3
	15 – 20	45,2	38,4	33,3	26,9	22,6	22,2
	20 – 30	34,2	30,2	28,8	23,9	20,4	20,1
	30 – 50	27,5	24,4	24,4	20,8	18,1	17,7
	50 – 120	23,5	21,1	19,8	17,3	15,6	15,4
	120 – 300	20,1	17,8	16,4	14,9	14,1	14,1
	Свыше 300	16,0	15,1	14,4	13,5	13,1	13,1

Таблица 1.10 – Удельная мощность общего равномерного освещения светильниками с ЛЛ мощностью 40 Вт

h, м	S, м^2	Удельная мощность W, Вт/м^2, светильников с КСС. Освещенность 100 лк; условный КПД = 100 %; MF= 0,67; z = 1,1							
		Д-1		Д-2		Д-3		Г-1	
		при $\rho_п$, $\rho_с$, $\rho_р$							
		0,7; 0,5; 0,1	0,5; 0,3; 0,1	0,7; 0,5; 0,1	0,5; 0,3; 0,1	0,7; 0,5; 0,1	0,5; 0,3; 0,1	0,7; 0,5; 0,1	0,5; 0,3; 0,1
2 – 3	10 – 15	4,9	6,1	4,4	5,2	4,3	5,0	3,7	4,1
	15 – 25	4,0	4,8	3,7	4,2	3,7	4,2	3,3	3,6
	25 – 50	3,6	4,2	3,3	3,8	3,2	3,6	2,9	3,1
	50 – 150	3,1	3,5	2,8	3,1	2,7	2,9	2,5	2,6
	150 – 300	2,7	3,0	2,6	2,8	2,5	2,6	2,4	2,5
	Свыше 300	2,5	2,7	2,4	2,5	2,3	2,5	2,2	2,3
3 – 4	10 – 15	7,6	10,5	6,7	8,5	5,6	4,9	6,9	5,5
	15 – 20	7,8	5,4	6,7	4,9	5,8	4,2	4,7	4,7
	20 – 30	4,9	5,9	4,4	5,2	4,2	5,0	3,7	4,2
	30 – 50	4,0	3,7	4,6	3,7	3,7	4,2	3,2	3,6
	50 – 120	3,5	4,1	3,2	3,7	3,1	3,4	2,8	3,0
	120 – 300	3,0	3,5	2,8	3,1	2,7	2,9	2,5	2,6
	Свыше 300	2,6	2,8	2,5	2,6	2,4	2,3	2,2	2,3
4- 6	10 – 17	10,5	20,0	9,6	12,9	8,1	11,0	6,3	7,6
	17 – 25	8,5	12,2	7,1	9,6	6,5	7,8	5,1	5,9
	25 – 35	7,1	8,8	5,9	7,8	5,1	6,3	4,4	5,0
	35 – 50	5,5	6,9	4,9	5,9	4,5	5,4	3,8	4,4
	50 – 80	4,2	5,0	3,8	4,6	4,0	4,6	3,4	3,8
	80 – 150	3,8	4,5	3,4	4,0	3,4	3,8	3,1	3,3
	150 – 400	3,3	3,5	3,1	3,4	2,9	3,1	2,6	2,8
	Свыше 400	2,7	3,0	2,6	2,8	2,5	2,6	2,3	2,4

Таблица 1.11 – Удельная мощность общего равномерного освещения светильниками с лампами типа ДРИ

h, м	S, м^2	Удельная мощность W, Вт/м^2, светильников с КСС. Освещенность 100 лк; условный КПД = 100 %; ρ_n = 0,5; ρ_c = 0,3; ρ_p = 0,1; MF= 0,67; z = 1,15							
		Д-1	Д-2	Д-3	Г-1	Г-2	Г-3	К-1	К-2
3 – 4	10 – 15	9,7	7,8	6,3	5,1	4,2	4,0	-	-
	15 – 20	7,2	6,1	5,3	4,3	3,6	3,6	-	-
	20 – 30	5,5	4,8	4,6	3,8	3,3	3,2	-	-
	30 – 50	4,4	3,9	3,9	3,3	2,9	2,8	-	-
	50 – 120	3,7	3,4	3,2	2,8	2,5	2,5	-	-
	120 – 300	3,2	2,8	2,6	2,4	2,2	2,2	-	-
	Свыше 300	2,6	2,4	2,3	2,2	2,1	2,1	-	-
4 – 6	10 – 17	18,4	11,9	10,1	7,0	5,3	5,5	-	-
	17 – 25	11,3	8,8	7,2	5,5	4,5	4,5	-	-
	25 – 35	8,1	7,2	5,8	4,6	3,9	4,0	-	-
	35 – 50	6,3	5,5	4,9	4,1	3,5	3,4	-	-
	50 – 80	4,6	4,2	4,2	3,6	3,1	3,0	-	-
	80 – 150	4,1	3,7	3,6	3,1	2,7	2,7	-	-
	150 – 400	3,5	3,1	2,9	2,6	2,4	2,3	-	-
	Свыше 400	2,7	2,5	2,4	2,2	2,2	2,1	-	-
6 – 8	50 – 65	8,4	7,2	5,8	4,7	3,9	3,8	3,5	-
	65 – 90	6,8	5,8	5,1	4,2	3,6	3,5	3,2	-
	90 – 135	5,1	4,5	4,4	3,7	3,2	3,1	3,0	-
	135 – 250	4,2	3,8	3,8	3,2	2,8	2,7	2,7	-
	250 – 500	3,7	3,3	3,1	2,7	2,5	2,4	2,4	-
	Свыше 500	2,7	2,5	2,4	2,2	2,2	2,1	2,1	-
6 – 12	70 – 100	11,8	8,8	7,2	5,5	4,5	4,4	4,0	-
	100 – 130	8,2	7,2	6,0	4,7	4,0	3,8	3,5	-
	130 – 200	6,3	5,5	4,9	4,0	3,5	3,4	3,2	-
	200 – 300	4,8	4,2	4,2	3,6	3,1	3,0	2,9	-
	300 – 600	4,1	3,7	3,8	3,4	2,7	2,7	2,6	-
	600 – 1500	3,5	3,2	2,9	2,6	2,4	2,4	2,3	-
	Свыше 1500	2,7	2,4	2,4	2,2	2,1	2,1	2,1	3,5
12 – 16	150 – 200	-	8,8	7,2	5,5	4,5	4,4	4,1	3,0
	200 – 350	-	6,1	5,2	4,4	3,7	3,6	3,3	2,7
	350 – 600	-	4,3	4,8	3,6	3,4	3,0	2,9	2,4
	600 – 1300	-	3,6	3,5	3,0	2,7	2,8	2,6	2,2
	1300 – 4000	-	3,0	2,5	2,5	2,3	2,3	2,3	2,1
	Свыше 4000	-	2,5	2,2	2,2	2,1	2,1	2,1	-

1.10.2 Удельная мощность является важнейшим энергетическим показателем осветительной установки, широко используемым для оценки экономичности решений и для предварительного определения осветительной нагрузки на начальных стадиях проектирования, нормируемым СП 52.13330.

Допускается для общего равномерного освещения вместо полного светотехнического расчета определять мощность и число ламп по таблицам удельной мощности. Не следует рассчитывать по таблицам удельной мощности освещение таких помещений, как гардеробы и санузлы, по существу, являющиеся

локализованными. Таблицами удельной мощности необходимо пользоваться в пределах данных, для которых они составлены.

1.10.3. При пользовании таблицами (1.9 – 1.10) следует учитывать следующие особенности:

- если коэффициент эксплуатации, принятый для расчета, отличается от указанных в соответствующей таблице, то допускается пропорциональный перерасчет удельной мощности.

- табличные значения удельной мощности соответствуют номинальному напряжению 220 В.

- в таблицах приведены W для условного КПД = 100%; расчетное значение W для освещенности 100 лк от реально применяемых светильников определяется делением табличного значения $W_{100\%}$ на выраженный в долях единицы КПД светильников.

- при составлении таблиц удельной мощности не учитывалась форма помещения и коэффициент использования определялся по формуле:

$$U_{oy} = 0,48\sqrt{S} / h_p \qquad (1.72)$$

- что является достаточно точным при $A/B \leq 3$.

Приводимые в таблицах W для $E = 100$ лк изменяются пропорционально при рассчитываемых E_H.

Таблицы 1.9 – 1.11 рассчитывались для светильников прямого света при отношении расстояний между ними или между их рядами к высоте подвеса $L : h = 0,4$ для КСС типов Г-3, К-1, К-2; $L : h = 1,0$ для КСС типов Д-3, Г-1, Г-2 и $L : h = 1,5$ для КСС типов Д-1, Д-2, а также при полном совпадении данных, для которых составлены эти таблицы.

Порядок расчета по удельной мощности при лампах накаливания и лампах типа ДРЛ:

- определяется h_p, тип и число светильников n в помещении;

- по таблицам СП 52.13330 находится нормированная освещенность для данного вида помещений E_H;

- по соответствующей таблице находится удельная мощность W;

- определяется мощность лампы по формуле:

$$P_л = WS / n \qquad (1.73)$$

и подбирается ближайшая стандартная лампа.

Если расчетная мощность лампы оказывается большей, чем в принятых светильниках, следует определить необходимое число светильников, приняв мощность лампы, приемлемую для данного светильника.

1.10.4 При применении светильников с люминесцентными лампами сохраняется прежний порядок расчета освещения помещений, включая определение числа рядов светильников N и типа лампы.

- По соответствующей таблице находится удельная мощность W для ламп данной мощности или нескольких возможных к применению мощностей.

- Определяется необходимое число светильников в ряду:

$$n = WS / P_л, \qquad (1.74)$$

и осуществляется их компоновка.

Пример. В помещении площадью S = A × B = 16 ×10 = 160 м^2 с $\rho_п$ = 0,5; $\rho_с$ = 0,3; $\rho_р$ = 0,1 на расчетной высоте $h_р$ = 3,2 м предполагается установить светильники типа ЛСП02-2×40-10 (КСС типа Д-3, КПД – 60%) с ЛЛ типа ЛБ. Определить число светильников, необходимое для создания освещенности E = 300 лк при коэффициенте эксплуатации MF = 0,56 и коэффициенте неравномерности z = 1,1.

По таблице 6.8 находится $W_{100\%}$ = 2,9 Вт/м^2. Но так как в таблице 6.8 E = 100 лк; MF = 0,67 и КПД = 100%, пропорциональным пересчетом определяется значение:

$$W = \frac{2,9 \cdot 0,67 \cdot 300}{0,56 \cdot 0,6 \cdot 100} = 17,4 \text{ Вт/м}^2$$

Число светильников

$$n = \text{WS} / \text{P}_л = (17,4 \cdot 160) / 80 \approx 35 \text{ шт.}$$

Таким образом, предусматривается 3 ряда по 12 светильников в каждом.

2 Инженерные методы расчета качественных показателей искусственного освещения

2.1 Ограничение слепящего действия искусственного освещения в помещениях

2.1.1 Слепящее действие искусственного освещения в помещениях согласно СП 52.13330 и СанПиН 2.2.4.3359 ограничивается максимальным значением объединенного показателя дискомфорта *UGR*, который рассчитывается на основе фотометрических и геометрических данных светового прибора, содержащихся в файле светильника в формате *.ies* и *.ldt* или на основе геометрических размеров светильника, светового потока и таблиц кривых сил света. Для этого используют программные средства (Приложение А).

2.1.2 Объединенный показатель дискомфорта *UGR* в соответствии с СП 52.133330 определяют по формуле

$$UGR = 8\lg\left[\frac{0{,}25}{L_a}\sum_{i=1}^{N}\frac{L_i^2\omega_i}{p_i^2}\right], \qquad (2.1)$$

где N – число светильников в осветительной установке; Li – габаритная яркость светящей части i-го светильника в направлении глаз работающего, кд/м²; ω_i – телесный угол светящихся частей i-го светильника видимый из места (точки) расположения работающего, ср; L_a – яркость фона, кд/м², $L_a = E_{ind}\cdot\pi^{-1}$, где E_{ind} – отраженная составляющая вертикальной освещенности на уровне глаз работающего.

Отраженная составляющая вертикальной освещенности на высоте линии зрения работающего согласно СП 52.133330 принимается равной отраженной вертикальной освещенности стен на данной высоте, то есть $E_{ind} = E_{WID}$; p_i – индекс позиции для i-го светильника, учитывающий его размещение относительно линии зрения наблюдателя.

2.1.3 Индекс позиции p_i определяют интерполяцией данных таблицы 2.1 в зависимости от относительных координат положения центра светильника x_T/y_R, H/y_R

Таблица 2.1 – Значения индексов позиции для светильников стандартного расположения в плане помещения

x_T/y_R	H/y_R 0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90
0,00	1,00	1,26	1,53	1,90	2,35	2,86	3,50	4,20	5,00	6,00	7,00	8,10	9,25	10,35	11,70	13,15	14,70	16,20	–	–
0,10	1,05	1,22	1,46	1,80	2,20	2,75	3,40	4,10	4,80	5,80	6,80	8,00	9,10	10,30	11,60	13,00	14,60	16,10	–	–
0,20	1,12	1,30	1,50	1,80	2,20	2,66	3,18	3,88	4,60	5,50	6,50	7,60	8,75	9,85	11,20	12,70	14,00	15,70	–	–
0,30	1,22	1,38	1,60	1,87	2,25	2,70	3,25	3,90	4,60	5,45	6,45	7,40	8,40	9,50	10,85	12,10	13,70	15,00	–	–
0,40	1,32	1,47	1,70	1,96	2,35	2,80	3,30	3,90	4,60	5,40	6,40	7,30	8,30	9,40	10,60	11,90	13,20	14,60	16,00	–
0,50	1,43	1,60	1,82	2,10	2,48	2,91	3,40	3,98	4,70	5,50	6,40	7,30	8,30	9,40	10,50	11,75	13,00	14,40	15,70	–
0,60	1,55	1,72	1,98	2,30	2,65	3,10	3,60	4,10	4,80	5,50	6,40	7,35	8,40	9,40	10,50	11,70	13,00	14,10	15,40	–
0,70	1,70	1,88	2,12	2,48	2,87	3,30	3,78	4,30	4,88	5,60	6,50	7,40	8,50	9,50	10,50	11,70	12,85	14,00	15,20	–
0,80	1,82	2,00	2,32	2,70	3,08	3,50	3,92	4,50	5,10	5,75	6,60	7,50	8,60	9,50	10,60	11,75	12,80	14,00	15,10	–
0,90	1,95	2,20	2,54	2,90	3,30	3,70	4,20	4,75	5,30	6,00	6,75	7,70	8,70	9,65	10,75	11,80	12,90	14,00	15,00	16,00
1,00	2,11	2,40	2,75	3,10	3,50	3,91	4,40	5,00	5,60	6,20	7,00	7,90	8,80	9,75	10,80	11,90	12,95	14,00	15,00	16,00
1,10	2,30	2,55	2,92	3,30	3,72	4,20	4,70	5,25	5,80	6,55	7,20	8,15	9,00	9,90	10,95	12,00	13,00	14,00	15,00	16,00
1,20	2,40	2,75	3,12	3,50	3,90	4,35	4,85	5,50	6,05	6,70	7,50	8,30	9,20	10,00	11,02	12,10	13,10	14,00	15,00	16,00
1,30	2,55	2,90	3,30	3,70	4,20	4,65	5,20	5,70	6,30	7,00	7,70	8,55	9,35	10,20	11,20	12,25	13,20	14,00	15,00	16,00
1,40	2,70	3,10	3,50	3,90	4,35	4,85	5,35	5,85	6,50	7,25	8,00	8,70	9,50	10,40	11,40	12,40	13,25	14,05	15,00	16,00
1,50	2,85	3,15	3,65	4,10	4,55	5,00	5,50	6,20	6,80	7,50	8,20	8,85	9,70	10,55	11,50	12,50	13,30	14,05	15,02	16,00
1,60	2,95	3,40	3,80	4,25	4,75	5,20	5,75	6,30	7,00	7,65	8,40	9,00	9,80	10,80	11,75	12,60	13,40	14,20	15,10	16,00
1,70	3,10	3,55	4,00	4,50	4,90	5,40	5,95	6,50	7,20	7,80	8,50	9,20	10,00	10,85	11,85	12,75	13,45	14,20	15,10	16,00
1,80	3,25	3,70	4,20	4,65	5,10	5,60	6,10	6,75	7,40	8,00	8,65	9,35	10,10	11,00	11,90	12,80	13,50	14,20	15,10	16,00
1,90	3,43	3,86	4,30	4,75	5,20	5,70	6,30	6,90	7,50	8,17	8,80	9,50	10,20	11,00	12,00	12,82	13,55	14,20	15,10	16,00
2,00	3,50	4,00	4,50	4,90	5,35	5,80	6,40	7,10	7,70	8,30	8,90	9,60	10,40	11,10	12,00	12,85	13,60	14,30	15,10	16,00
2,10	3,60	4,17	4,65	5,05	5,50	6,00	6,60	7,20	7,82	8,45	9,00	9,75	10,50	11,20	12,10	12,90	13,70	14,35	15,10	16,00
2,20	3,75	4,25	4,72	5,20	5,60	6,10	6,70	7,35	8,00	8,55	9,15	9,85	10,60	11,30	12,10	12,90	13,70	14,40	15,15	16,00
2,30	3,85	4,35	4,80	5,25	5,70	6,22	6,80	7,40	8,10	8,65	9,30	9,90	10,70	11,40	12,20	12,95	13,70	14,40	15,20	16,00
2,40	3,95	4,40	4,90	5,35	5,80	6,30	6,90	7,50	8,20	8,80	9,40	10,00	10,80	11,50	12,25	13,00	13,75	14,45	15,20	16,00
2,50	4,00	4,50	4,95	5,40	5,85	6,40	6,95	7,55	8,25	8,85	9,50	10,05	10,85	11,55	12,30	13,00	13,80	14,50	15,25	16,00
2,60	4,07	4,55	5,05	5,47	5,95	6,45	7,00	7,65	8,35	8,95	9,55	10,10	10,90	11,60	12,32	13,00	13,80	14,50	15,25	16,00
2,70	4,10	4,60	5,10	5,53	6,00	6,50	7,05	7,70	8,40	9,00	9,60	10,16	10,92	11,63	12,35	13,00	13,80	14,50	15,25	16,00
2,80	4,15	4,62	5,15	5,56	6,05	6,55	7,08	7,73	8,45	9,05	9,65	10,20	10,95	11,65	12,35	13,00	13,80	14,50	15,25	16,00
2,90	4,20	4,65	5,17	5,60	6,07	6,57	7,12	7,75	8,50	9,10	9,70	10,23	10,95	11,65	12,35	13,00	13,80	14,50	15,25	16,00
3,00	4,22	4,67	5,20	5,65	6,12	6,60	7,15	7,80	8,55	9,12	9,70	10,23	10,95	11,65	12,35	13,00	13,80	14,50	15,25	16,00

в системе координат относительно работающего или находящегося в помещении человека. Данная система координат имеет центр O в точке расположения работающего. y_R – координата центра светильника по направлению линии зрения, x_T – координата центра светильника в направлении, перпендикулярном линии зрения, H – высота установки светильника над уровнем линии: зрения работающего. Все координаты относятся к центру светильника. Приведенные в таблице 2.1 параметры x_T/y_R, H/y_R определяются в соответствии с рисунком 2.1.

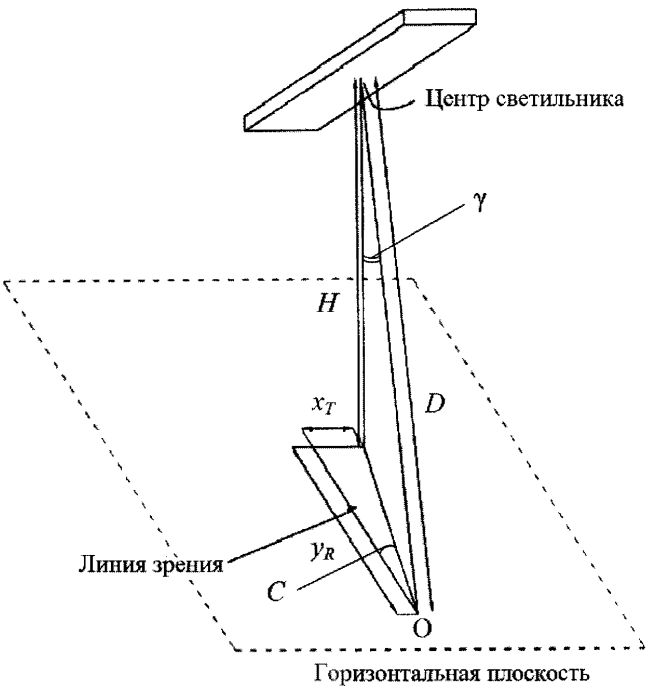


Рисунок 2.1 – Расположение центра светильника относительно работающего

2.1.4 Для расчета объединенного показателя дискомфорта *UGR* в целях проверки выполнения норм используют формулы (2.1 – 2.4). *UGR* определяется по значениям силы света светильников в направлении места (точки) расположения работающего, расстоянию от работающего до видимой площади светящей поверхности, светильника D, индексу позиции светильника p и отраженной составляющей освещенности от стен на высоте линии зрения работающего E_{WID}. Значения сил света содержатся в файле фотометрических данных на светильник в формате *ies*, в формате *ldt*, или в таблицах силы света:

$$UGR = 8\lg\sum_{i=1}^{N}\left[\frac{\pi}{4E_{WID}}\frac{I_{C\gamma i}^2 A_i}{A_i^2 D_i^2 p_i^2}\right] \quad (2.2)$$

или с введением коэффициента $K_i = \frac{\pi}{4p_i^2 D_i^2}$:

$$UGR = 8\lg\sum_{i=1}^{N}\left[\frac{K_i}{E_{WID}}\frac{I_{C\gamma i}^2}{A_i}\right], \quad (2.3)$$

$$UGR = 8\lg\sum_{i=1}^{N}\left[\frac{K_i I_{C\gamma i}^2}{A_i}\right] - 8\lg E_{WID}, \quad (2.4)$$

где $I_{C\gamma i}$ – сила света *i*-го светильника в направлении работающего, определяется вертикальным углом γ и азимутальным углом *C* в системе координат *OC*γ с центром в точке расположения работающих согласно с рисунком 2.1; *C* = arcctg $\frac{x_T}{y_R}$ – азимутальный угол; γ = arccos *H*/*D* – меридиональный угол; *A* – площади проекций светящих поверхностей светильника на плоскость, перпендикулярную линии зрения, в соответствии с рисунком 2.2, определяемые по формулам:

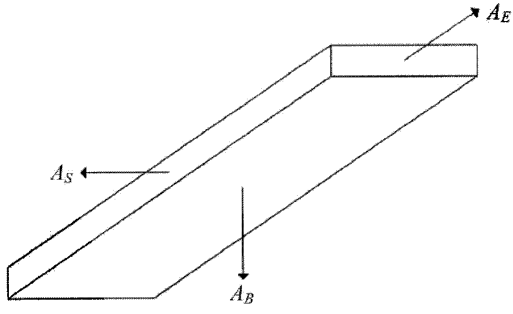


Рисунок 2.2. Расположение светящих поверхностей светильника, видимых работающим в помещении

– при направлении линии зрения вдоль продольной оси светильников

$$A = A_B \frac{H}{D} + A_S \frac{x_T}{D} + A_E \frac{y_R}{D}; \quad (2.5)$$

– при направлении линии зрения поперек продольной оси светильников

$$A = A_B \frac{H}{D} + A_S \frac{y_R}{D} + A_E \frac{x_T}{D}, \quad (2.6)$$

где $D = \sqrt{(H^2 + x_T^2 + y_R^2)}$. (2.7)

2.1.5 Отраженную составляющую освещенности на стенах помещения E_{WID} определяют по формуле

$$E_{WID} = \frac{F_{UWID} N \Phi_0}{A_W} = B F_{UWID}, \quad (2.8)$$

где F_{UWID} – коэффициент использования отраженных световых потоков для стен; N – число светильников в помещении; Φ_0 = 1000 лм; A_W – общая площадь стен, м^2, между рабочей плоскостью иплоскостью расположения светильников; B – коэффициент:

$$\mathrm{B} = 1000 \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{A_W}}. \quad (2.9)$$

Расчет E_{WID} выполняют на основе табличных значений силы света $I_{C\gamma}$ в зависимости от азимутального угла C с интервалом 15° (от 0° до 345°) и в зависимости от меридионального угла γ с интервалом 5° (от 0° до 180°) в такой последовательности:

1) рассчитывают зональные световые потоки Φ_{zL1}, Φ_{zL2}, Φ_{zL3} и Φ_{zL4}:

Φ_{zL1} = зональный световой поток (от 0° до 40°) + 0,130 ▉ зональный поток (от 40° до 50°),

Φ_{zL2} = зональный световой поток (от 0° до 60°),

Φ_{zL3} = зональный световой поток (от 0° до 70°) + 0,547 х зональный поток (от 70° до 80°),

Φ_{zL4} = зональный световой поток (от 0° до 90°);

2) рассчитывают общий зональный световой поток:

$$\Phi_{zL} = \Phi_{zL1} F_{GL1} + \Phi_{zL2} F_{GL2} + \Phi_{zL3} F_{GL3} + \Phi_{zL4} F_{GL4}; \quad (2.10)$$

3) рассчитывают коэффициенты распределения F_{DF}, F_{DW}, F_{DC}:

$$F_{DF} = \Phi_{zL} / \Phi_0, \tag{2.11}$$

$$F_{DW} = R_{DLO} - F_{DF}, \tag{2.12}$$

$$F_{DC} = R_{ULO}; \tag{2.13}$$

4) рассчитывают коэффициент использования для стен F_{UWID}:

$$F_{UWID} = F_{DF} \cdot F_{T,FW} + F_{DW} (F_{T,WW} - 1) + F_{DC} \cdot F_{T,CW}. \tag{2.14}$$

2.1.6 Значения UGR(Φ_0) рассчитывались для распределения силы света светильника, приведенного к потоку Φ_0 = 1000 лм; для получения фактических значений объединенного показателя дискомфорта UGR они должны быть пересчитаны по формуле

$$UGR(\Phi) = UGR(\Phi_0) + 8 \lg\left(\frac{\Phi}{\Phi_0}\right), \tag{2.15}$$

где UGR (Φ_0) – приведенное значение UGR для светового потока 1000 лм; Φ – фактический полный поток источников света в светильнике.

Отраженную составляющую для стен помещения определяют по формуле

$$F_{WID} = F_{UWID} \cdot B. \tag{2.16}$$

Для определения объединенного показателя дискомфорта рекомендуется использовать программные средства, упомянутые в приложении А.

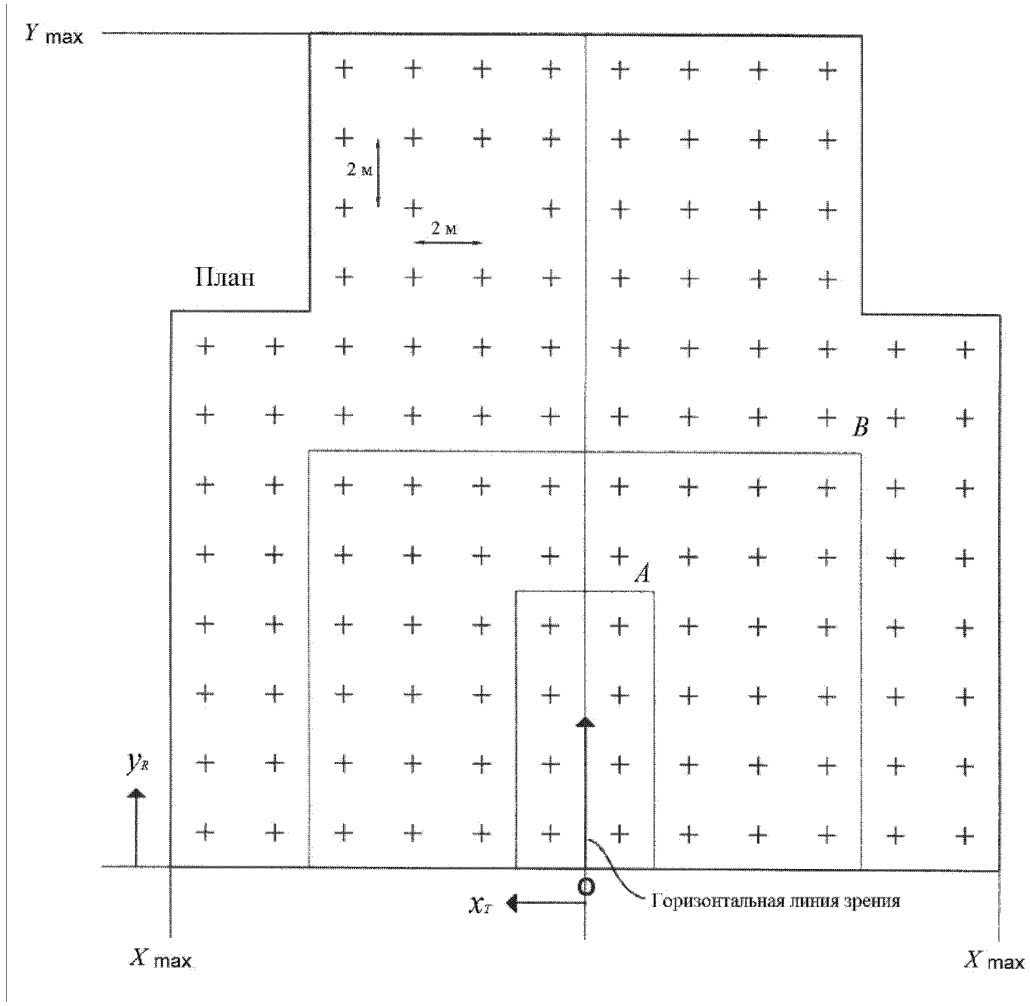
2.1.7 Объединенный показатель дискомфорта UGR в помещениях соответствует норме, если его значение не превышает нормированного.

2.1.8 Стандартные таблицы объединенных показателей дискомфорта UGR, приведенных к световому потоку 1000 лм, являются характеристиками дискомфортной блескости, которая возникает при искусственном освещении помещений и зависит от характеристик помещения и применяемых светильников [2]. Таблицы рассчитывают на основе файлов фотометрических данных на светильник в формате .ies и .ldt или на основе табличных значений сил света, оформленных по [2]. Рекомендуется использовать программные средства, перечень которых приведен в приложении А.

2.1.9 Таблицу значений объединенных показателей дискомфорта UGR (Φ_0), приведенных к условному световому потоку Φ_0 = 1000 лм, рассчитывают для

стандартных условий освещения, при которых:

- светильники располагают в помещении равномерно по площади в соответствии с рисунками 2.3 и 2.4;



«+» – светильник

Рисунок 2.3 – Стандартное расположение светильников в плане помещения

(Площадь А соответствует размерам 2Н×4Н, площадь В соответствует размерам 8Н×6Н)

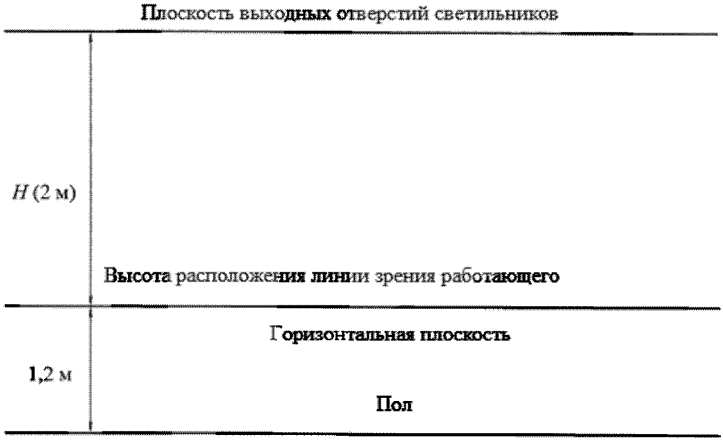


Рисунок 2.4 – Возможное взаимное расположение светильников относительно работающего в разрезе

- работающий располагается в центральной точке О у стены помещения, и его линия зрения направлена горизонтально к центру противоположной стены помещения;

- высота размещения выходных отверстий светильников выше уровня линии зрения работающего на 2 м;

- расстояние между светильниками равно 2 м в обоих направлениях x_T и y_R, где x_T – расстояние между вертикальными плоскостями, параллельными линии зрения и проходящими через центр светильника и через работающего, y_R – расстояние, параллельное направлению линии зрения, от работающего до вертикальной плоскости, перпендикулярной направлению линии зрения работающего и проходящей через центр светильника в соответствии с рисунками 2.3 и 2.4;

- отношение расстояния между центрами прилегающих светильников к высоте расположения их над расчетной плоскостью F_S равно 1:1;

- высота стены над расчетной плоскостью 2,0 м;

- линия зрения работающего расположена на высоте 1,2 м от пола, что соответствует линии зрения сидящего человека;

- размеры помещения X и Y выражены через высоту установки светильников над плоскостью линии зрения работающего H; размер помещения X определяют перпендикулярно линии зрения, а размер помещения Y – параллельно линии зрения работающего;

- распределение силы света светильника приведено к значению: кд/1000 лм.

Пример таблицы значений объединенных показателей дискомфорта, приведенных к 1000 лм *UGR* (Φ_0), представлен в таблице 2.2. Значения *UGR* в таблице 2.2 приведены для 19 стандартных помещений, относительные размеры которых выражены через высоту установки светильников, для пяти комбинаций коэффициентов отражения поверхностей помещений и для поперечного и продольного размещений светильников по отношению к линии стандартного наблюдателя. Форма таблиц 2.2 и 2.3 соответствует требованиям Международной комиссии по освещению (МКО).

Таблица 2.2. Значения объединенных показателей дискомфорта *UGR*(Φ_0) для светильника с симметричным светораспределением (для условного светового потока Φ = 1000 лм)

		Объединенный показатель дискомфорта UGR									
Коэффициенты отражения	Потолок	0,70	0,70	0,50	0,50	0,30	0,70	0,70	0,50	0,50	0,30
	Стены	0,50	0,30	0,50	0,30	0,30	0,50	0,30	0,50	0,30	0,30
	Пол	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Относительные размеры помещения		Направление линии зрения поперек продольной оси светильников					Направление линии зрения вдоль продольной оси светильников				
ширина, X	длина, Y										
2*H*	2*H*	8,9	10,5	9,3	10,8	11,1	10,6	12,2	11,0	12,5	12,9
	3*H*	10,4	11,9	10,8	12,2	12,6	12,4	13,8	12,8	14,2	14,5
	4*H*	10,9	12,3	11,3	12,6	13,0	13,1	14,4	13,5	14,8	15,2
	6*H*	11,5	12,7	11,9	13,1	13,5	13,6	14,8	14,0	15,2	15,6
	8*H*	11,7	12,9	12,1	13,3	13,7	13,7	14,9	14,2	15,3	15,7
	12*H*	12,0	13,2	12,4	13,5	14,0	13,8	14,9	14,2	15,3	15,7
4*H*	2*H*	9,6	11,0	10,0	11,3	11,7	11,0	12,4	11,4	12,7	13,1
	3*H*	11,3	12,5	11,7	12,9	13,3	13,0	14,1	13,4	14,5	14,9
	4*H*	12,0	13,0	12,4	13,4	13,9	13,9	14,9	14,3	15,3	15,7
	6*H*	12,6	13,5	13,1	14,0	14,4	14,5	15,4	15,0	15,8	16,3
	8*H*	13,0	13,8	13,5	14,2	14,7	14,7	15,5	15,2	16,0	16,4
	12*H*	13,4	14,1	13,8	14,6	15,0	14,8	15,6	15,3	16,0	16,5
8*H*	4*H*	12,4	13,2	12,8	13,6	14,1	14,0	14,9	14,5	15,3	15,8
	6*H*	13,2	13,8	13,6	14,3	14,8	14,8	15,4	15,2	15,9	16,4
	8*H*	13,6	14,2	14,1	14,7	15,2	15,0	15,6	15,5	16,1	16,6
	12*H*	14,1	14,6	14,6	15,1	15,7	15,2	15,7	15,7	16,2	16,8
12*H*	4*H*	12,4	13,2	12,9	13,6	14,1	14,0	14,8	14,5	15,2	15,7
	6*H*	13,2	13,8	13,7	14,3	14,8	14,8	15,4	15,3	15,9	16,4
	8*H*	13,8	14,3	14,3	14,8	15,3	15,1	15,6	15,6	16,1	16,7

Таблица 2.3 – Расчет зональных световых потоков светильника

Меридиональный угол γ, град	Азимутальный угол C, град																								Средняя интенсивность	Зональный коэффициент	Поток $(E \cdot F)$
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345			
0																											
5																											
10																											
15																											
20																											
25																											
30																											
35																											
40																											
45																											
50																											
55																											
60																											
65																											
70																											
75																											
80																											
85																											
90																											
	Полный поток от 0^0 до 90^0, отн. ед. (L)																										
95																											
100																											
105																											
110																											
115																											
120																											
125																											
130																											
135																											
140																											
145																											
150																											
155																											
160																											
165																											
170																											
175																											
180																											
	Полный поток, отн. ед. (M)																										

2.1.10 Расчет значений для таблицы стандартных значений, приведенных к световому потоку 1000 лм, выполняют по формулам (2.5) – (2.14).

Для расчетов используют вспомогательную таблицу 2.2, а также таблицы 2.3 – 2.6. Значения азимутальных углов C, меридиональных углов γ и отношений H/D, x_T/D, y_R/D для стандартного расположения светильников обобщены в таблице 2.3.

В соответствии с таблицей 2.2 на основе линейной интерполяции определяют индексы позиции p_i для стандартного расположения светильников.

На следующем этапе определяют отраженную составляющую на стенах помещений E_{WID}. Расчет зональных световых потоков проводят с использованием таблицы 2.3 на основе значений силы света.

Таблица 2.4 – Промежуточные коэффициенты для стандартного расположения светильников

$x_T/H = 0,5$						
y_R/H	C, град	γ, град	K	H/D	y_R/D	x_T/D
0,5	45,00	35,26	–	0,8165	0,4082	0,4082
1,5	18,43	57,69	0,00412	0,5345	0,8018	0,2673
2,5	11,31	68,58	0,00541	0,3651	0,9129	0,1826
3,5	8,13	74,21	0,00473	0,2722	0,9526	0,1361
4,5	6,34	77,55	0,00386	0,2157	0,9705	0,1078
5,5	5,19	79,74	0,00308	0,1782	0,9800	0,0891
6,5	4,40	81,28	0,00243	0,1516	0,9855	0,0758
7,5	3,81	82,42	0,00197	0,1319	0,9891	0,0659
8,5	3,37	83,30	0,00163	0,1166	0,9915	0,0583
9,5	3,01	84,00	0,00137	0,1045	0,9931	0,0523
10,5	2,73	84,57	0,00116	0,0947	0,9944	0,0474
11,5	2,49	85,03	0,00100	0,0865	0,9530	0,0433
$x_T/H = 1,5$						
y_R/H	C, град	γ, град	K	H/D	y_R/D	x_T/D
0,5	71,57	57,69	–	0,5345	0,2673	0,8018
1,5	45,00	64,76	0,00155	0,4264	0,6396	0,6396
2,5	30,96	71,07	0,00294	0,3244	0,8111	0,4867
3,5	23,20	75,29	0,00329	0,2540	0,8890	0,3810
4,5	18,43	78,10	0,00292	0,2063	0,9283	0,3094
5,5	15,26	80,05	0,00249	0,1728	0,9503	0,2592
6,5	12,99	81,47	0,00209	0,1482	0,9636	0,2224
7,5	11,31	82,55	0,00177	0,1296	0,9723	0,1945
8,5	10,01	83,39	0,00150	0,1151	0,9782	0,1726
9,5	8,97	84,06	0,00129	0,1034	0,9825	0,1551
10,5	8,13	84,61	0,00111	0,9390	0,9856	0,1408
11,5	7,43	85,07	0,00097	0,0859	0,9879	0,1289

Продолжение таблицы 2.4

$x_T/H = 2{,}5$						
y_R/H	C, град	γ, град	K	H/D	y_R/D	x_T/D
0,5	78,69	68,58	–	0,3651	0,1826	0,9129
1,5	59,04	71,07	0,00053	0,3244	0,4867	0,8111
2,5	45,00	74,21	0,00119	0,2722	0,6804	0,6804
3,5	35,54	76,91	0,00166	0,2265	0,7926	0,5661
4,5	29,05	79,01	0,00183	0,1907	0,8581	0,4767
5,5	24,44	80,60	0,00176	0,1633	0,8981	0,4082
6,5	21,04	81,83	0,00159	0,1421	0,9239	0,3553
7,5	18,43	82,79	0,00140	0,1255	0,9412	0,3137
8,5	16,39	83,56	0,00124	0,1122	0,9533	0,2804
9,5	14,74	84,19	0,00109	0,1013	0,9621	0,2532
10,5	13,39	84,71	0,00096	0,0923	0,9687	0,2306
11,5	12,26	85,14	0,00084	0,0847	0,9737	0,2117
$x_T/H = 3{,}5$						
y_R/H	C, град	γ, град	K	H/D	y_R/D	x_T/D
0,5	81,87	74,21	–	0,2722	0,1361	0,9526
1,5	66,80	75,29	0,00024	0,2540	0,3810	0,8890
2,5	54,46	76,91	0,00053	0,2265	0,5661	0,7926
3,5	45,00	78,58	0,00083	0,1980	0,6931	0,6931
4,5	37,87	80,05	0,00105	0,1728	0,7775	0,6047
5,5	32,47	81,28	0,00115	0,1516	0,8339	0,5307
6,5	28,30	82,29	0,00113	0,1342	0,8725	0,4698
7,5	25,02	83,11	0,00106	0,1200	0,8996	0,4198
8,5	22,38	83,79	0,00099	0,1081	0,9193	0,3785
9,5	20,22	84,36	0,00090	0,0983	0,9338	0,3440
10,5	18,43	84,84	0,00081	0,0900	0,9448	0,3149
11,5	16,93	85,24	0,00073	0,0829	0,9534	0,2902
$x_T/H = 4{,}5$						
y_R/H	C, град	γ, град	K	H/D	y_R/D	x_T/D
0,5	83,66	77,55	–	0,2157	0,1078	0,9705
1,5	71,57	78,10	0,00015	0,2063	0,3094	0,9283
2,5	60,95	79,01	0,00027	0,1907	0,4767	0,8581
3,5	52,13	80,05	0,00045	0,1728	0,6047	0,7775
4,5	45,00	81,07	0,00059	0,1552	0,6985	0,6985
5,5	39,29	81,99	0,00072	0,1393	0,7664	0,6271
6,5	34,70	82,79	0,00077	0,1255	0,8157	0,5647
7,5	30,96	83,48	0,00078	0,1136	0,8519	0,5112
$x_T/H = 5{,}5$						
y_R/H	C, град	γ, град	K	H/D	y_R/D	x_T/D
0,5	84,81	79,74	–	0,1782	0,0891	0,9800
1,5	74,74	80,05	–	0,1728	0,2592	0,9503
2,5	65,56	80,60	0,00017	0,1633	0,4082	0,8981
3,5	57,53	81,28	0,00026	0,1516	0,5307	0,8339
4,5	50,71	81,99	0,00036	0,1393	0,6271	0,7664
5,5	45,00	82,67	0,00044	0,1275	0,7013	0,7013
6,5	40,24	83,30	0,00052	0,1166	0,7582	0,6415
7,5	36,25	83,86	0,00056	0,1069	0,8018	0,5880

В таблице 2.5 содержатся значения коэффициентов *B* по формуле (2.8) для расчета отраженной составляющей освещенности стен в помещении. В таблицу 2.4 сведены значения геометрических факторов для стандартного расположения светильников.

Коэффициенты передачи светового потока в зависимости от индекса помещения, комбинации коэффициентов отражения потолка, стен и расчетной поверхности сведены в таблицу 2.7.

Таблица 2.5. Значения коэффициента *B* для расчета отраженной составляющей освещенности стен в зависимости от индекса помещения

Размеры по оси *X*	Размеры по оси *Y*	Индекс помещения	Число светильнико	Площадь стен	*B*
2*H*	2*H*	1,00	4	32,00	125,00
	3*H*	1,20	6	40,00	150,00
	4*H*	1,33	8	48,00	166,67
	6*H*	1,50	12	64,00	187,50
	8*H*	1,60	16	80,00	200,00
	12*H*	1,71	24	112,00	214,29
4*H*	2*H*	1,33	8	48,00	166,67
	3*H*	1,71	12	56,00	214,29
	4*H*	2,00	16	64,00	250,00
	6*H*	2,40	24	80,00	300,00
	8*H*	2,67	32	96,00	333,33
	12*H*	3,00	48	128,00	375,00
8*H*	4*H*	2,67	32	96,00	333,33
	6*H*	3,43	48	112,00	428,57
	8*H*	4,00	64	128,00	500,00
	12*H*	4,80	96	160,00	600,00
12*H*	4*H*	3,00	48,00	128,00	375,00
	6*H*	4,00	72,00	144,00	500,00
	8*H*	4,80	96,00	160,00	600,00

Таблица 2.6 – Геометрические факторы в зависимости от индекса помещения

Размеры по оси X	Размеры по оси Y	Индекс помещения	FGL1	FGL2	FGL3	FGL4
2H	2H	1,00	0,690	0,109	0,085	−0,016
	3H	1,20	0,578	0,200	0,127	−0,018
	4H	1,33	0,528	0,218	0,170	−0,017
	6H	1,50	0,485	0,215	0,222	−0,012
	8H	1,60	0,466	0,207	0,249	−0,006
	12H	1,71	0,448	0,198	0,272	0,005
4H	2H	1,33	0,528	0,218	0,170	−0,017
	3H	1,71	0,394	0,275	0,268	−0,020
	4H	2,00	0,338	0,257	0,351	−0,018
	6H	2,40	0,296	0,203	0,449	−0,006
	8H	2,67	0,280	0,165	0,499	−0,006
	12H	3,00	0,264	0,125	0,541	0,027

Продолжение таблицы 2.6

Размеры по оси X	Размеры по оси Y	Индекс помещения	FGL1	FGL2	FGL3	FGL4
8H	4H	2,67	0,280	0,165	0,499	0,006
	6H	3,43	0,248	0,058	0,628	0,032
	8H	4,00	0,239	−0,012	0,690	0,058
	12H	4,80	0,232	−0,084	0,740	0,098
12H	4H	3,00	0,264	0,125	0,541	0,027
	6H	4,00	0,238	−0,003	0,677	0,063
	8H	4,80	0,232	−0,084	0,740	0,098

Таблица 2.7 – Коэффициент передачи светового потока в зависимости от индекса помещения и коэффициентов отражения потолка, стен и расчетной плоскости

Коэффициенты отражения света потолка/стен/расчетной плоскости, %	X	2*H*	2*H*	2*H*	2*H*	2*H*	2*H*	4*H*	4*H*	4*H*	4*H*
	Y	2*H*	3*H*	4*H*	6*H*	8*H*	12*H*	2*H*	3*H*	4*H*	6*H*
	k	1,00	1,20	1,33	1,50	1,60	1,71	1,33	1,71	2,00	2,40
70/50/20	$F_{T,FW}$	0,220	0,199	0,187	0,174	0,167	0,160	0,187	0,158	0,142	0,124
	$F_{T,WW}^{-1}$	0,422	0,376	0,351	0,322	0,307	0,290	0,351	0,295	0,265	0,230
	$F_{T,CW}$	0,646	0,571	0,531	0,488	0,466	0,443	0,531	0,439	0,389	0,335
70/30/20	$F_{T,FW}$	0,188	0,173	0,164	0,154	0,149	0,143	0,164	0,142	0,129	0,114
	$F_{T,WW}^{-1}$	0,217	0,196	0,184	0,171	0,164	0,156	0,184	0,159	0,144	0,127
	$F_{T,CW}$	0,553	0,497	0,465	0,432	0,415	0,397	0,465	0,393	0,351	0,307
50/50/20	$F_{T,FW}$	0,198	0,178	0,166	0,154	0,147	0,141	0,166	0,140	0,125	0,108
	$F_{T,WW}^{-1}$	0,380	0,338	0,314	0,287	0,273	0,257	0,314	0,263	0,235	0,204
	$F_{T,CW}$	0,445	0,393	0,365	0,335	0,320	0,304	0,364	0,301	0,267	0,230
50/30/20	$F_{T,FW}$	0,172	0,157	0,148	0,138	0,133	0,128	0,148	0,126	0,114	0,100
	$F_{T,WW}^{-1}$	0,198	0,179	0,167	0,155	0,147	0,140	0,167	0,143	0,129	0,113
	$F_{T,CW}$	0,386	0,346	0,324	0,301	0,288	0,276	0,324	0,272	0,244	0,212
30/30/20	$F_{T,FW}$	0,157	0,141	0,132	0,123	0,118	0,113	0,132	0,112	0,100	0,087
	$F_{T,WW}^{-1}$	0,181	0,162	0,151	0,139	0,132	0,124	0,151	0,128	0,115	0,101
	$F_{T,CW}$	0,227	0,203	0,190	0,176	0,169	0,161	0,190	0,159	0,142	0,124

Коэффициенты отражения света потолка/стен/расчетной плоскости, %	X	4*H*	4*H*	8*H*	8*H*	8*H*	8*H*	12*H*	12*H*	12*H*
	Y	8*H*	12*H*	4*H*	6*H*	8*H*	12*H*	4*H*	6*H*	8*H*
	k	2,67	3,00	2,67	3,43	4,00	4,80	3,00	4,00	4,80
70/50/20	$F_{T,FW}$	0,115	0,105	0,115	0,094	0,083	0,071	0,105	0,083	0,071
	$F_{T,WW}^{-1}$	0,211	0,190	0,211	0,175	0,155	0,133	0,190	0,153	0,133
	$F_{T,CW}$	0,307	0,279	0,307	0,247	0,215	0,183	0,279	0,216	0,183
70/30/20	$F_{T,FW}$	0,106	0,098	0,106	0,088	0,078	0,067	0,098	0,078	0,067
	$F_{T,WW}^{-1}$	0,117	0,106	0,117	0,098	0,088	0,076	0,106	0,086	0,076
	$F_{T,CW}$	0,283	0,259	0,283	0,231	0,203	0,174	0,259	0,204	0,174

Окончание таблицы 2.7

Коэффициенты отражения света потолка/стен/расчетной плоскости, %	X	4H	4H	8H	8H	8H	8H	12H	12H	12H
	Y	8H	12H	4H	6H	8H	12H	4H	6H	8H
	k	2,67	3,00	2,67	3,43	4,00	4,80	3,00	4,00	4,80
50/50/20	$F_{T,FW}$	0,100	0,091	0,100	0,081	0,071	0,061	0,091	0,071	0,061
	$F_{T,WW}^{-1}$	0,187	0,167	0,187	0,154	0,137	0,117	0,167	0,134	0,117
	$F_{T,CW}$	0,211	0,191	0,211	0,169	0,147	0,125	0,191	0,148	0,125
50/30/20	$F_{T,FW}$	0,093	0,085	0,093	0,076	0,067	0,058	0,085	0,068	0,058
	$F_{T,WW}^{-1}$	0,104	0,094	0,104	0,087	0,078	0,067	0,094	0,077	0,067
	$F_{T,CW}$	0,196	0,179	0,196	0,158	0,140	0,120	0,179	0,140	0,120
30/30/20	$F_{T,FW}$	0,081	0,074	0,081	0,066	0,058	0,049	0,074	0,058	0,049
	$F_{T,WW}^{-1}$	0,092	0,083	0,092	0,077	0,069	0,059	0,083	0,067	0,059
	$F_{T,CW}$	0,114	0,104	0,114	0,092	0,081	0,069	0,104	0,081	0,069

2.1.11 Поскольку значения в стандартной таблице приведены для распределения силы света светильника, приведенного к световому потоку 1000 лм, для получения фактических значений объединенного показателя дискомфорта *UGR* они должны быть пересчитаны по формуле (2.15).

Пример расчета объединенного показателя дискомфорта *UGR* приведен в приложении В.

2.1.12 Анализ стандартной таблицы показателей дискомфорта позволяет в зависимости от относительных размеров помещения и коэффициентов отражения поверхностей помещения оценить диапазон возможных значений *UGR* и сделать вывод о возможном применении данного светильника в помещении.

2.1.13 Взаимосвязь объединенного показателя дискомфорта *UGR* с показателями дискомфорта и ослепленности.

Для перевода показателя дискомфорта M и показателя ослепленности P, использующихся в некоторых ранее выпущенных нормативных документах, в объединенный показатель дискомфорта *UGR* следует использовать таблицу 2.8 и таблицу 2.9.

Таблица 2.8 – Соотношение между показателем дискомфорта M и объединенным показателем дискомфорта UGR

M	15	25	40	60	90
UGR	14	18	21	24	27

Таблица 2.9 – Соотношение между показателем ослепленности P и объединенным показателем дискомфорта UGR

P	10	20	40	60	80	150
UGR	19	22	24	25	26	28

2.2 Коэффициент пульсации освещенности в помещении

2.2.1 Коэффициент пульсации светового потока источников света определяется по формуле

$$K_{п.и} = \left(\Phi_{\max} - \Phi_{\min}\right) / 2\Phi_{ср}, \qquad (2.17)$$

где Φ_{max} и Φ_{min} – соответственно максимальное и минимальное значения светового потока за период колебания; $\Phi_{ср}$ – среднее значение светового потока за тот же период.

Значения $K_{п.и}$ для наиболее распространенных источников света приведены в таблицах 2.10 и 2.11.

Как видно из таблиц 2.10 и 2.11, ограничение значений $K_п$ может быть достигнуто применением светильников со светодиодами и специальных схем включения источников света в светильнике или расфазированием светильников в ОУ.

Таблица 2.10 – Значения $K_{п.и}$ для источников света типа ЛЛ

Источники света		Значение $K_{п.и}$, % от			
		одного источника света или модуля	установленных в одной световой точке		
			двух ламп при схеме питания отстающим и опережающим током	двух ламп, питаемых от разных фаз	трех ламп, питаемых от разных фаз
Светодиоды прямого тока		0	0	0	0
Люминесцентные лампы	ЛБ, ЛТБ	25	10,5	10	2,2
	ЛХБ	35	15	15	3,1
	ЛДЦ	40	17	17	3,5
	ЛД	55	23	23	5,0

Таблица 2.11 – Значения $K_{п.и}$ для металлогалогенных источников света

Металлогалогенные лампы	Значение $K_{п.и}$, % от		
	одной лампы	установленных в одной световой точке	
		двух ламп, питаемых от разных фаз	трех ламп, питаемых от равных фаз
металлогалогенные лампы	45	23	3,5

Этими же средствами обеспечивается ограничение коэффициента пульсации освещенности $K_п$ на рабочих местах, определяемого по формуле

$$K_п = \left(E_{\max} - E_{\min}\right) / 2E_{ср}, \qquad (2.18)$$

где $E_{\max}$ и $E_{\min}$ – соответственно, максимальное и минимальное значения освещенности за период колебания; $E_{ср}$ – среднее значение освещенности за тот же период.

Лучшие результаты по выполнению норм коэффициента пульсации достигаются применением светильников со светодиодами постоянного тока. или разрядных источников света с электронными пускорегулирующими устройствами.

Ограничение $K_п$ достигается:

- в двух- и четырехламповых светильниках с ЛЛ применением компенсированных пускорегулирующих аппаратов (ПРА), когда питание одной половины ламп в светильнике осуществляется отстающим током, а другой половины – опережающим;

- поочередным присоединением соседних светильников в ряду или соседних рядов к разным фазам сети;

- установкой в одной световой точке двух или трех светильников с металлогалогенными лампами, присоединенных к разным фазам сети;

- питанием различных ламп в многоламповых светильниках с ЛЛ от разных фаз сети.

В таблице 2.12 приведены условия, при которых нормированные значения $K_п$ соблюдаются, и проверка их выполнения в ОУ с ЛЛ не требуется.

2.2.2. Для наиболее распространенных светильников с металлогалогенными лампами в таблицах 2.13 и 2.14 указаны различные случаи расположения и расфазировки светильников и предельные значения отношения расстояния между

светильниками $l_{св}$ к расчетной высоте h_p, при которых соблюдаются нормированные значения K_n (через b, в таблице обозначено расстояние между рядами светильников; если численное значение величины $l_{св}/h_p$ приведено в виде дроби, то числитель относится к полям прямоугольной формы, а знаменатель – к шахматному расположению светильников).

В случаях, не указанных в таблицах 2.13 – 2.14, производится вычисление значения K_n в той точке расположения рабочих мест, где K_n имеет максимальное значение. Для этого в указанной точке отдельно определяются относительные освещенности, создаваемые светильниками, питаемыми от каждой из трех фаз.

Таблица 2.12 – Нормированные знаечние K_n пр различном расположении светильников с ЛЛ

Расположение светильников с ЛЛ и схема включения ламп	Нормированное значение K_n, %, не более			
	10	15	20	30
При любом расположения светильников: число ламп в светильнике, кратное трем, с равномерным распределением между фазами сети	+	+	+	+
Число ламп в светильнике, кратное двум, с включением половины ламп по схеме опережающего и половины – по схеме отстающего тока:				
лампы ЛБ и ЛТБ	+	+	+	+
лампы ЛХБ	-	+	+	+
лампы ЛДЦ	-	-	+	+
лампы ЛД	-	-	+	+
Любое число ламп в светильнике и любая схема включения: лампы ЛБ и ЛТБ	-	-	-	+
При сплошных линиях светильников и высоте подвеса hp ≥ 2 м трехфазные линии с поочередным включением светильников на разные фазы сети				
любые лампы и схемы	+	+	+	+
то же, но двухфазные линии:				
лампы ЛБ и ЛТБ	+	+	+	+
лампы ЛХБ	-	+	+	+
лампы ЛДЦ и ЛД	-	-	+	+
Двухфазные линии с поочередным включением светильников на разные фазы сети, число ламп в светильнике, кратное двум, с включением половины ламп по схеме опережающего и половины – по схеме отстающего тока, лампы всех типов	+	+	+	+

* Условия, при которых соблюдаются нормированные значения коэффициента пульсации, отмечены знаком «+».

Таблица 2.13 – Параметры, прикоторых соблюдаются нормированные значения для светильников с разрядными источниками света высокого давления

Тип разрядного источника света высокого давления	Количество светильников в световой точке, подключенных к разным фазам	Нормированное значение Кп % не более			
		10	15	20	30
ДРИ (двухкомпонентная)	2	-	-	-	+
	3	+	+	+	+
	3	+	+	+	+

Примечание. То же, что к таблице 2.12.

Таблица 2.14 – Различные случаи расположения и расфазировки светильников с металлогалогенными лампами

Число рядов	Расположение и расфазировка светильников	b/hp	Наибольшие значения lсв/hp, при которых обеспечивается Кп, % не более			
			10	15	20	30
Светильники с типовой кривой Д						
1	Одиночные светильники А-В-С-А-В-С	-	0,45	0,6	0,7	0,9
	Сдвоенные светильники АВ-СА-ВС-АВ-СА-ВС	-	0,8	1,1	1,3	1,8
2 и более	Одиночные светильники:	0,3	0,7/0,9	1,0/1,1	1,2/1,4	1,8
	первый ряд	0,6	0,6	0,9	1,1	1,6
	А-В-С-А-В-С	0,9	0,35/0,5	0,7	0,95	1,2/1,3
	второй ряд	1,2	0,3/0,5	0,65	0,8	1,1
	В-С-А-В-С-А	1,8	0,2/0,45	0,6	0,75	1,0
2 и более	Сдвоенные светильники:	0,3	0,8/0,4	1,2/1,4	1,8	1,8
	первый ряд	0,6	0,8/0,4	1,2	1,8	1,8
	АВ-СА-ВС-АВ-СА-ВС	0,9	0,8/0,4	1,15	1,7/1,8	1,8
	второй ряд	1,2	0,8/0,4	1,1	1,6/1,7	1,8
	ВС-АВ-СА-ВС-АВ-СА	1,8	0,8/0,4	1,1	1,4/1,6	1,8
Светильники с типовой кривой Г						
1	Одиночные светильники: А-В-С-А-В-С	-	0,45	0,5	0,6	0,7
	Сдвоенные светильники: АВ-СА-ВС-АВ-СА-ВС	-	0,55	0,75	0,95	1,2
2 и более	Одиночные светильники:	0,3	0,55/0,75	0,7/0,9	0,9/1,0	1,2
	первый ряд	0,45	0,5/0,65	0,65/0,75	0,8/0,9	1,2
	А-В-С-А-В-С	0,6	0,5	0,65	0,75	1,1
	второй ряд	0,75	0,45	0,6	0,7	0,85
	В-С-А-В-С-А	0,9	0,4	0,5	0,65	0,8
	и т.д.	1,2	0,4	0,45	0,6	0,7
	Сдвоенные светильники:	0,3	0,6/0,5	0,9/0,7	1,2/1,0	1,2
	первый ряд	0,45	0,6/0,5	0,85/0,7	1,2/1,0	1,2
	АВ-СА-ВС-АВ-СА-ВС	0,6	0,6/0,5	0,85/0,7	1,2/1,0	1,2
	второй ряд	0,9	0,6/0,5	0,8/0,7	1,1/1,0	1,2
	ВС-АВ-СА-ВС-АВ-СА	1,2	0,6/0,5	0,7	1,0	1,2

* А, В, С – фазы питающего напряжения.

Наибольшее из значений принимается за 100 %, а остальные два выражаются в долях от него. Соответственно полученным долям по таблице 2.15 для ОУ с ЛЛ и по таблице 2.16 для ОУ с ДРИ определяется $K_{п.табл.}$, которое представляет собой пульсацию освещенности в ОУ, если лампы имеют условный $K_{п.и.}$ = 100%. Коэффициент пульсации в ОУ с источником света, имеющим реальную пульсацию светового истока $K_{п.и.} \neq 100$ %, определяется по соотношению:

$$K_п = K_{п.и.} K_{п.табл.} / 100\%. \quad (2.19)$$

Таблица 2.15 – Значение $K_{п.табл.}$ в ОУ с ЛЛ

Освещенность от ламп третьей фазы, %	Значение $K_{п.табл.}$ в ОУ с ЛЛ при освещенности от ламп второй фазы, %										
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
0	42,3	45,0	48,0	51,2	54,5	59,9	64,9	71,5	79,3	88,5	100
10	37,4	39,4	41,8	44,9	47,8	52,3	56,9	62,6	69,0	77,1	-
20	32,3	34,4	36,8	39,4	41,5	45,2	49,5	54,8	68,8	-	-
30	27,8	30,0	32,3	34,8	36,9	40,2	44,2	48,9	-	-	-
40	23,4	25,9	27,9	30,2	32,6	35,4	39,2	-	-	-	-
50	19,8	23,2	24,2	26,3	28,5	31,4	-	-	-	-	-
60	17,2	19,2	21,2	23,4	25,7	-	-	-	-	-	-
70	14,8	16,6	18,4	20,9	-	-	-	-	-	-	-
80	12,4	14,2	16,3	-	-	-	-	-	-	-	-
90	10,4	12,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	8,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 2.16 – Значение $K_{п.табл.}$ в ОУ с ДРИ

Освещенность от ламп третьей фазы, %	Значение $K_{п.табл.}$ в ОУ с ДРИ при освещенности от ламп второй фазы, %										
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
0	49,9	50,3	50,9	52,4	53,9	56,5	61,0	67,1	74,2	88,5	100
10	40,0	40,5	41,0	41,5	43,0	46,0	51,0	56,0	62,5	69,9	-
20	33,3	33,5	34,0	35,3	37,1	39,5	43,1	48,4	55,5	-	-
30	28,1	28,3	28,6	29,2	30,4	31,9	35,4	41,6	-	-	-
40	22,8	23,0	23,5	24,5	26,0	28,1	31,0	-	-	-	-
50	18,0	18,4	19,4	20,5	22,4	24,5	-	-	-	-	-
60	15,0	15,2	15,5	16,5	19,6	-	-	-	-	-	-
70	11,6	12,0	12,6	13,7	-	-	-	-	-	-	-
80	9,3	9,7	10,6	-	-	-	-	-	-	-	-
90	8,8	9,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	7,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Пример. Помещение освещается одноламповыми светильниками с ЛЛ типа ЛБ, включенными поочередно в три фазы ($К_{п.и.}$ = 25%). Определить $К_п$ в расчетной точке ОУ, если лампы, включенные в разные фазы питающей сети, создают в этой точке соответственно освещенности 300, 120 и 60 лк.

Выражая освещенности в процентах от наибольшего значения (300), получаем: 100, 40 и 20%. По таблице 2.14 находим для источника света с $К_{п.и.}$ = 100% значение $К_{п.табл.}$ = 49,6%. Коэффициент пульсации освещенности в ОУ с ЛЛ типа ЛБ находим по соотношению (2.19): $К_{п.}$ = 25% × 49,6% /100% = 12,4%.

2.3 Цилиндрическая освещенность

Цилиндрическая освещенность $E_ц$ нормируется и рассчитывается только для помещений общественных зданий, перечиленных в таблице приложения Л СП 52.13330.2016, для которых необходимо визуальное восприятия окружающего пространства (залы музеев, галерей и т.п.).

Цилиндрическая освещенность предстпавляет собой среднюю плотность светового потока на боковой поверхности вертикально расположенного цилиндра, размеры которого стремятся к нулю.

Цилиндрическая освещенность от отдельных светильников легко определяется делением вертикальной освещенности $E_в$ в плоскости, перпендикулярной проекции луча на π.

Расчет цилиндрической освещенности производится инженерными методами. Значение $E_ц$ определяется на расстоянии 1 м от торцевой стены на центральной продольной оси помещения на высоте 1,5 м от пола.

В инженерном методе расчета для определения значения $E_ц$ принимаются следующие допущения.

1. Ограждающие поверхности помещения (пол, потолок, стены) принимаются диффузными, равнояркими по всей поверхности,

2. Светильники заменяются равнояркой поверхностью, каждый элемент которой имеет светораспределение, соответствующее светораспределению светильника.

3. Светораспределение светильника аппроксимилируется формулой:

$$I = I_0 \cos^m \alpha, \tag{2.20}$$

где I_0 – сила света в направлении вертикали; I_α – сила света под углом α с вертикалью.

Значение m определяется по формуле

$$m = 2\pi I_0 / \Phi_\cup - 1, \tag{2.21}$$

где $\Phi_\cup$ – световой поток светильника в нижнюю полусферу, равный для светильников прямого света 1000 лм.

Для расчета цилиндрической освещенности используются графики зависимости отношения средней горизонтальной освещенности к цилиндрической освещенности от индекса помещения, построенные для светильников с различным светораспределением (рисунок 2.5).

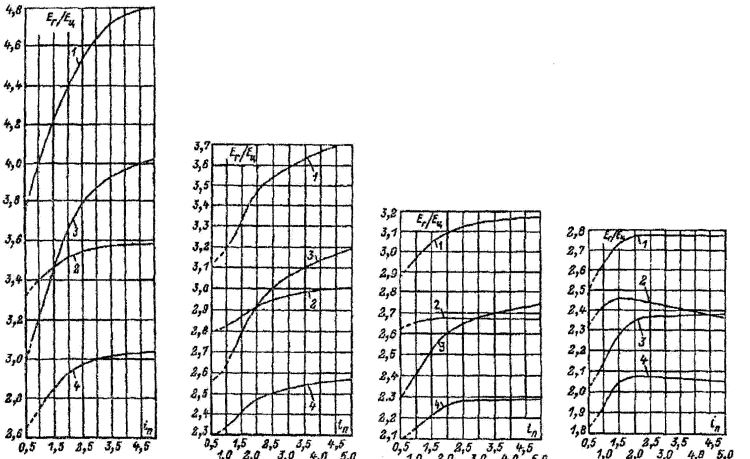


Рисунок 2.5 – Графики для расчета цилиндрической освещенности

а) $m = 1$; б) $m = 1{,}43$; в) $m = 2$; г) $m = 3$

На всех графиках кривая *1* соответствует $\rho_{ст} = 0{,}3$, $\rho_р = 0{,}1$; кривая *2* – $\rho_{ст} = 0{,}3$, $\rho_р = 0{,}3$; кривая *3* – $\rho_{ст} = 0{,}5$; $\rho_р = 0{,}1$; кривая *4* – $\rho_{ст} = 0{,}5$; $\rho_р = 0{,}3$

Индекс помещения определен по высоте расположения светильников над расчетной плоскостью, на которой нормирована горизонтальная освещенность.

Кривые построены для различных сочетаний коэффициентов отражения стен и пола помещения.

Инженерный метод расчета справедлив при световых потоках в верхнюю полусферу менее 15 %, в других случаях применение этого метода может привести к значительным погрешностям.

Пример. В читальном зале размером 32×20 м, высотой 3,8 м на потолке установлены люминесцентные светильники прямого света, имеющие к.п.д. 70% и силу света $I_0 = 270$ кд. Коэффициенты отражения стен и пола соответственно равны 0,5 и 0,3.

Требуется определить, на какую горизонтальную освещенность должно быть рассчитано освещение помещения, чтобы получить цилиндрическую освещенность 150 лк. Для данного светильника

$$\underline{m} = 2\pi I_0 / \Phi_{\cup} - 1 = 6{,}28 \cdot 270/700 - 1 \approx 1{,}4.$$

Индекс помещения $i_n = 640 / (3{,}8(32+20)) = 3{,}2$. На рисунке 2.5 находим $E_Г/E_ц = 2{,}52$, откуда $E_Г = 2{,}52 \cdot 150 = 378$ лк. Коэффициент эксплуатации учтен при составлении графиков.

3 Искусственное освещение общественных и жилых помещений

3.1 Общие положения

3.1.1 Основные требования к ОУ помещений общественных и жилых зданий должны определяться исходя из нормируемых показателей освещения и функционального назначения помещения.

Конкретные приемы освещения помещений должны выбираться совместно светотехником и архитектором.

3.1.2 Совместная работа архитектора и светотехника должна осуществляться в следующей последовательности:

- в соответствии с общим архитектурным замыслом выбираются система освещения и тип источников света, ориентировочно определяется мощность ламп и рассматривается ряд возможных для использования типов светильников и вариантов их размещения (применение нестандартных специальных светильников возможно только в исключительных случаях для уникальных объектов или при отсутствии подходящих стандартных светильников);

- производится окончательный выбор типа, светильников и их размещение.

3.1.3 Технико-экономические сопоставления проводятся при необходимости выбора одного из вариантов ОУ и могут служить основанием для принятия решения только при равных осветительных условиях, обеспечивающих одинаковую работоспособность в основных рабочих помещениях и равных условиях восприятия интерьеров в помещениях с повышенными требованиями к архитектурно-художественному оформлению интерьера.

3.1.4 Для освещения помещений общественных зданий предусматривается рабочее, аварийное, эвакуационное и дежурное освещение.

3.1.5 Аварийное освещение следует предусматривать в помещениях диспетчерских, операторских, киноаппаратных, узлов связи, электрощитовых, здравпунктов, аккумуляторных, дежурных пожарных постов, на постах постоянной охраны, в гардеробах с числом мест хранения 300 и более, а также в главных кассах, в детских комнатах и дебаркадерах крупных магазинов, в помещениях торговых

залов магазинов самообслуживания, в вестибюлях гостиниц, залах ресторанов.

В помещениях насосных, тепловых пунктов и бойлерных аварийное освещение предусматривается только при постоянном пребывании дежурного персонала или если токоприемники данных помещений относятся к нагрузкам I категории надежности электроснабжения.

3.1.6 Эвакуационное освещение предусматривается в проходах и на лестницах, предназначенных для эвакуации людей из зданий, где пребывает одновременно свыше 50 человек, а также из здравпунктов, книго- и архивохранилищ, независимо от числа лиц, пребывающих там; в плавательных бассейнах, спортивных и актовых залах, рекреациях, гардеробных, проходных помещениях, коридорах и на лестницах общеобразовательных школ, профтехучилищ и средних специальных учебных заведений; в групповых, игральных, столовых, приемных, раздевальных, коридорах и на лестничных клетках, а также в кухнях и стирально-разборочных помещениях детских дошкольных учреждений; в ожидальных, раздевальных, мыльных, душевых помещениях бассейнов и парильных бань; в помещениях, где одновременно могут находиться свыше 100 чел. (большие аудитории, обеденные залы, актовые залы и т.п.); в торговых залах и на путях выхода из них, в магазинах с торговыми залами общей площадью 90 $м^2$ и более, в транспортных туннелях торговых предприятий; в помещениях с постоянно работающими в них людьми, если вследствие отключения рабочего освещения и продолжения при этом работы производственного оборудования может возникнуть опасность травматизма (производственные помещения предприятий общественного питания, бытового обслуживания населения и т.п.).

3.1.7 Эвакуационные знаки безопасности (световые указатели) «Выход» должны быть установлены у выходов из помещений обеденных и актовых залов, больших аудиторий, конференц-залов и других помещений, рассчитанных на одновременное пребывание свыше 30 чел., а также коридоров, к которым примыкают помещения, где могут одновременно находиться свыше 50 чел., у выходов из торговых залов общей площадью 180 $м^2$ и более, во всех магазинах и из

торговых залов общей площадью 110 м^2 и более.

3.1.8 В помещениях общественных зданий, как правило, следует применять систему общего освещения.

Допускается применение системы комбинированного освещения в помещениях общественных зданий, где выполняется зрительная работа разрядов А-В по СП 52.13330 (например, кабинеты, рабочие комнаты, читальные залы библиотек и архивов и т.п.) В производственных помещениях общественных зданий (ремонт одежды, часов, телевизоров, радиоаппаратуры и т.д.) следует применять систему комбинированного освещения (общее + местное).

3.1.9 Общее освещение помещений разрядов А-В (СП 52.13330) следует выполнять преимущественно светодиодными модулями и люминесцентными лампами, в том числе компактными.

Разрядные лампы высокого давления типов ДРИ – для освещения:

- помещений с осветительными установками отраженного света,

- помещений высотой более 7 м,

- помещений, в осветительных установках которых используются полые цилиндрические и плоские световоды,

- производственных помещений, приравненных к промышленным (например, цехов, прачечных).

3.1.10 Общее освещение помещений разрядов Г-Е (СП 52.13330) при невысоких требованиях к цветопередаче допускается выполнять лампами типов ДРИ.

3.1.11 Общее освещение вспомогательных помещений разрядов Д-Ж (СП 52.13330) (вестибюлей, фойе, парадных лестниц) рекомендуется выполнять светодиодами, люминесцентными лампами, в том числе компактными – источниками света с индексом цветопередачи $R_a \geq 80$ и цветовой температурой $T_ц$ = 2700–4500.

3.1.12 Местное освещение помещений административных зданий (кабинетов, рабочих комнат, читальных залов библиотек и т.п.) следует выполнять светодиодами, люминесцентными лампами, в т.ч. компактными.

3.1.13 Лампы накаливания допускается применять для общего освещения:

- помещений, где по технологическим требованиям недопустимо применение разрядных ламп (например, в помещениях для работы с материалами, которые под воздействием излучения разрядных ламп теряют свои свойства, и в помещениях, где радиопомехи, создаваемые светильниками с разрядными лампами, недопустимы для работы технологического оборудования) – киноаппаратные, помещения для звукозаписи,

- помещений, где для оформления интерьера требуется применение ламп накаливания (залы ресторанов, кафе, баров, фойе и т.п.).

3.1.14 Общее освещение помещений общественных зданий при отсутствии специальных требований к цветопередаче и комфортности следует выполнять светодиодами и люминесцентными лампами.

Общее освещение помещений, где производится:

- сопоставление цветов с высокими требованиями к цветоразличению и выбор цвета (например, специализированные магазины «Ткани», «Одежда») – следует выполнять светодиодами, люминесцентными лампами, в том числе компактными – источниками света с индексом цветопередачи $R_a \geq 90$ и цветовой температурой $T_ц$ = 3000-6500 К;

- сопоставление цветов с высокими требованиями к цветоразличению (например, выставочные и демонстрационные залы, кабинеты рисования, парикмахерские и т.д.) – следует выполнять светодиодами, люминесцентными лампами, в том числе компактными – источниками света с индексом цветопередачи $R_a \geq 90$ и цветовой температурой $T_ц$ = 3000-6500 К;

- различение цветных объектов при невысоких требованиях к цветоразличению (например, универсамы, ателье химической чистки одежды и т.д.) – следует выполнять светодиодами, люминесцентными лампами, в том числе компактными – источниками света с индексом цветопередачи $R_a \geq 80$ и цветовой температурой $T_ц$ = 3500-5500.

3.1.15 Выбор типов светильников общего освещения следует проводить с учетом их светотехнических параметров, внешнего вида, экономической

эффективности и условий окружающей среды. Характеристика помещений по условиям окружающей среды дана в таблице 3.1, рекомендации по выбору исполнения светильников в зависимости от характеристики помещений по условиям среды приведены в таблице 3.2.

Во взрывоопасных и пожароопасных зонах следует применять светильники, удовлетворяющие требованиям раздела 6 ПУЭ.

Таблица 3.1 – Характеристика помещений по условиям окружающей среды

Условия среды	Наименование помещений и зон
Пожароопасные:	
класса П-I	Закрытые автостоянки, расположенные под зданиями Столярные мастерские
класса П-II	Фонды открытого доступа к книгам, книгохранилища
класса П-IIа	Архивы, переплетные и макетные мастерские, печатные отделения офсетной печати, светокопировальные, киноаппаратные, перемоточные, помещения для нарезки тканей, рекламно-декарационные мастерские, витрины с экспозицией из горючих материалов, помещения для хранения бланков, упаковочных материалов и контейнеров, отделения приема и выдачи белья и одежды, отделения разборки, починки и упаковки белья, пошивочные цехи, закройные отделения, отделения подготовки прикладных материалов, помещения ремонта одежды, ручной и машинной вязки, изготовления и ремонта головных уборов, скорняжных работ, фонотек, кладовые продуктов в сгораемой упаковке, кладовые в непродовольственных магазинах, кладовые пункты проката и спецодежды, чердаки, кладовые и подсобные помещения квартир и домов усадебного типа
Пыльные	Отделы электрофотографирования
Влажные	Фотолаборатории, дистилляторные, автоклавные, горячие, доготовочные и заготовочные цехи, загрузочные, кладовые и моечные тары, кладовые овощей, раздевальные в банях, душевые, сушильно-гладильные отделения, прачечные с самообслуживанием, утюжные, декатировочные, санитарные узлы, тепловые пункты, охлаждаемые камеры
Сырые	Моечные кухонной и столовой посуды, отделения механической стирки, приготовления стиральных растворов, насосные, бассейны
Особо сырые	Отделения ручной стирки, душевые, моечные, парильные
Жаркие	Горячие цехи предприятий общественного питания, парильные, моечные
Химически активные	Отделения химической чистки

Примечание. В каждом конкретном случае характеристика помещения (зоны) по условиям среды уточняется в проекте. Характеристика помещений, не указанных в таблице, также определяется в проекте здания.

Таблица 3.2 – Рекомендации по выбору исполнения светильников

Степень защиты светильников по ГОСТ 14254-80 ГОСТ 17677-82	Тип источника	Характеристика помещений по условиям среды						
		нормальные	влажные	сырые	особо сырые	с химически активной средой[1,4]	пыльные[7]	жаркие
IP20	ЛЛ	+	x	-	-	-	x[8]	+[10]
	СД, МГЛ	+	x	x[2]	-	-	x[8]	+

Степень защиты светильников по ГОСТ 14254-80 ГОСТ 17677-82	Тип источника	Характеристика помещений по условиям среды						
		нормальные	влажные	сырые	особо сырые	с химически активной средой[1,4]	пыльные[7]	жаркие
IP23	ЛЛ, СД, МГЛ	(-)	+	х[3]	х[3]	х[3,11]	х[8]	х
2′0	ЛЛ	+	х	(-)	-	-	-	х[10]
	СД, МГЛ	+	х	(-)	-	-	-	х[10]
5′0	СД, МГЛ	(-)	(-)	х[2]	-	Х	+[9,12]	+
5′3	СД, МГЛ	(-)	(-)	х[3]	х[3]	х[3]	+[9,12]	х
IP51	СД	(-)	(-)	+[6]	+[6]	х[6]	+	х[10]
5′4	ЛЛ	(-)	(-)	+	+	+	+	+[10]
IP53	СД, МГЛ	(-)	(-)	+[3]	+[3]	+[3]	+	х[10]
IP54	ЛЛ	(-)	(-)	+	+	+	+	х[10]
	СД	(-)	(-)	+	+	+[5]	+	х[10]
	МГЛ	(-)	(-)	+	+	+	+	х

Условные обозначения: + – светильники рекомендуются; х – допускаются; - – запрещаются; (-) – применение светильников возможно, но нецелесообразно.

[1] Предпочтительны светильники с корпусами и отражателями из влагостойкой пластмассы, фарфора, покрытые силикатной эмалью.

[2] Допускается при отсутствии капель воды, падающих на светильники при наличии фарфорового патрона.

[3] При наличии брызг воды (растворов), падающих на светильник под углом более 60° к вертикали установка светильников со степенями защиты IP23 и 5′3 запрещается.

[4] Рекомендуются светильники, специально предназначенные для химически активной среды.

[5] Светильники, которые могут сверху заливаться водой или раствором, должны иметь боковой ввод проводов.

[6] При наличии брызг воды (растворов), падающих на светильник под углом более 15° к вертикали, светильники с нетермостойким стеклом допускаются при условии установки в них ламп меньшей мощности, чем номинальная для данного светильника.

[7] В пыльных помещениях рекомендуется применение в светильниках ламп с внутренним отражающим слоем и не рекомендуется применение светильников с экранирующими решетками, сетками и подобными элементами, способствующими запылению.

[8] Светильники допускаются при ограниченном количестве пыли в зоне их установки.

[9] Светильники со степенью защиты 5′Х (например, 5′3) предпочтительнее светильников со степенью защиты IP5Х (например, IP53), в частности в следующих случаях: количество пыли мало, пыль светлая, светильники располагаются в местах, неудобных для обслуживания, помещение жаркое.

[10] Рекомендуется установка в светильниках с лампами накаливания указанных степеней защиты ламп меньшей мощности, чем номинальная для данного светильника.

[11] Допускаются при условии выполнения деталей светильников, контактов патронов и цоколей ламп из материала, не подверженного коррозии в данной химически активной среды.

[12] Преимущественно с лампами-светильниками или рефлекторными ЛЛ.

3.1.16 В помещениях общественных зданий следует отдавать предпочтение светильникам с коэффициентом полезного действия не менее 55%.

3.1.17 В рабочих помещениях целесообразно использовать светильники преимущественно прямого и рассеянного света с кривой силы света типа Л в нижней полусфере.

3.1.18 В помещениях со светлыми потолками административных и учебных зданий для уменьшения контрастов яркости в поле зрения должны применяться, как правило, светильники, направляющие в верхнюю полусферу не менее 10 – 15% излучаемого ими светового потока.

3.1.19 Для создания наибольшего уровня вертикальной освещенности в осветительной установке общего равномерного освещения следует применять светильники с кривыми силы света типов Л, Д и М.

3.1.20 При устройстве акцентирующего освещения следует использовать светильники со значительной концентрацией светового потока с кривыми силы света К и Г.

3.1.21 Для создания мягкого, бестеневого и неслепящего освещения следует применять настенные или напольные светильники отраженного света с галогенными лампами накаливания мощностью до 300 Вт и металлогалогенными лампами мощностью 70, 150, 250 Вт с несимметричными зеркальными отражателями.

3.1.22 Для создания в помещении высокой равномерности освещения, а также при необходимости варьирования спектра излучения рекомендуется использование полых цилиндрических и плоских световодов.

3.1.23 Освещение рабочих поверхностей, обладающих направленным, направленно-рассеянным или смешанным отражением, должно предусматриваться с учетом мер по ограничению отраженной блескости согласно СП 52.13330.

3.1.24 Для соблюдения нормируемых СП 52.13330 значений коэффициентов пульсации в рабочих помещениях следует применять многоламповые светильники с ПРА, состоящих из равного числа опережающих и отстающих ветвей и равного числа ламп. Предпочтительно использование светильников с электронными ПРА.

3.1.25 При устройстве комбинированного освещения в помещениях

административных зданий, где выполняется зрительная работа А-В разрядов по СП 52.13330, светильники местного освещения должны удовлетворять требованиям ГОСТ 8607. Отдавать предпочтение следует светильникам с компактными люминесцентными лампами и галогенными лампами накаливания.

3.1.26 В учебных классах, спортивных и актовых залах учебных заведений, помещений детских дошкольных учреждений, в конструкторских бюро следует предусматривать либо отключение светильников рядами, параллельными световым проемам, либо плавное или ступенчатое регулирование в зависимости от естественного освещения.

3.1.27 Освещение лестниц, холлов, коридоров должно иметь автоматическое или дистанционное управление, обеспечивающее отключение части светильников или ламп в ночное время с таким расчетом, чтобы освещенность в этих помещениях была не ниже норм эвакуационного освещения.

3.1.28 Для уменьшения контрастов яркости в поле зрения коэффициенты отражения ограждающих поверхностей и мебели должны иметь следующие значения: потолка 0,7 – 0,75; стен 0,4 – 0,5; пола 0,3, мебели 0,4.

3.1.29 Светильники отраженного света по условиям ограничения слепящего действия являются наилучшими, так как полностью исключают блескость и не создают теней. Эксплуатация установок отраженного освещения значительно дороже и сложнее, чем установок прямого и рассеянного света. Потребляемая мощность при отраженном освещении возрастает в два-три раза по сравнению с мощностью прямого освещения.

3.1.30 Локализованное размещение светильников применяется в торговых залах магазинов, книгохранилищах, архивах, выставочных помещениях с постоянно фиксированными плоскостями экспозиции и т.п.

3.1.31 Для основных помещений общественных зданий размещение светильников прежде всего определяется отношением расстояния между светильниками к высоте подвеса $\lambda = l_{св} / h_{св}$. Уменьшение этой величины удорожает устройство и обслуживание освещения и часто приводит к применению ламп с пониженной световой отдачей, а чрезмерное увеличение ведет к резкой

неравномерности освещенности и возрастанию расхода электроэнергии.

В таблице 3.3 приведены рекомендуемые значения λ для светильников с типовыми кривыми силы света (КСС).

Таблица 3.3 – Рекомендуемые значения λ для светильников с типовыми кривыми силы света

Наименование типа КСС	λ_c	$\lambda_э$
Косинусная	1,4	1,6
Полуширокая	1,6	1,8
Равномерная	2,0	2,6

Если увеличение расстояния между светильниками не сопровождается повышением единичной мощности и световой отдачи ламп, следует руководствоваться значениями λ_c (светотехнически наивыгоднейшее расположение), а в остальных случаях – $\lambda_э$ (энергетически наивыгоднейшее расположение).

При размещении светильников общего освещения для сохранения равномерности распределения освещенности по помещению расстояние от крайнего ряда светильников до стен не должно превышать 0,25 – 0,3 расстояния между рядами светильников.

3.1.32 В помещениях с повышенными требованиями к оформлению интерьера размещение светильников должно быть увязано с архитектурным ритмом, который определяется оконными проемами, простенками между ними, колоннами, кессонами и т.п. Размещение осветительных приборов должно подчеркивать этот ритм, т.е. они должны размещаться, например, между колоннами, простенками и т.д.

3.1.33 Архитектурно-художественное освещение помещений может быть выполнено:

- светильниками (встраиваемыми, потолочными, подвесными, настенными и напольными);

- светящими потолками и панелями (рисунок 3.1).

3.1.34 При освещении архитектурных элементов интерьера следует учитывать, что в зависимости от способа освещения архитектурная форма воспринимается совершенно различно. Например, плоская поверхность (потолок, пол) только тогда воспринимается плоской, когда она освещается равномерно.

Уменьшение яркости в центре потолка создает впечатление его провисания, а потолок, имеющий повышенную яркость в центре, воспринимается в виде свода.

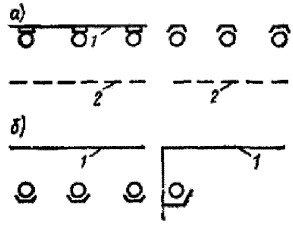


Рисунок 3.1 – Основные светотехнические схемы светящих потолков:
1 – отражающая поверхность; 2 – рассеивающая светопропускающая поверхность;
а – рассеивающие светящие потолки; б – отражающие светящие потолки

Усилением яркости в центре можно придать куполу кажущуюся большую кривизну, создать иллюзию повышения высоты помещения. Увеличение яркости по периметру, наоборот, вызовет ощущение понижения купола (обычно результат неправильного устройства световых карнизов).

Вертикально вогнутые членения (каннелюры, ниши и др.) также не должны освещаться равномерно. Односторонние мягкие тени способствуют правильному восприятию их формы. Так, при системе отраженного освещения пилястры почти незаметны и дорогостоящая отделочная работа оказывается бесполезной. При использовании в том же помещении редко расположенных подвесных светильников создаются односторонние тени, блики, что хорошо выявляет раскреповку пилястр и способствует восприятию их формы и фактуры. Освещение системы крупных кессонов решается удовлетворительно, когда число светильников принимается равным числу кессонов. Размещение светильников через два-три кессона (в случае мелких кессонов) приводит к образованию в промежуточных кессонах неприятных теней. В этом случае наилучший результат может быть достигнут при освещении кессонированного потолка напольными светильниками, установленными в соответствии с модулем кессонов. Для освещения настенного декора (фризов, лепки) рекомендуется создавать неравномерное распределение яркости, снижающееся сверху вниз, поэтому при наличии декоративных поясов в верхней

части стен светильники следует располагать непосредственно у потолков или применять систему отраженного освещения. Однако необходимо учитывать, что при мелком рельефе лепной отделки отраженное освещение ухудшает восприятие лепки. Особые требования предъявляются к помещениям, в которых располагается скульптура: для правильного выявления формы и фактуры скульптурных произведений освещение должно создавать мягкие односторонние тени, направленные под некоторым углом сверху вниз.

3.1.35 При использовании светильников художественный эффект может быть достигнут соответствующим их расположением в композиционные схемы и применением в одном помещении различных осветительных приборов.

3.1.36 Используемые в практике освещения светящие поверхности равномерной яркости могут быть выполнены в виде установок отраженного света (рисунок 3.2) или светящих панелей. Основные требования, предъявляемые к ним, заключаются в обеспечении заданной освещенности в расчетной плоскости, равномерном распределении яркости по светящей поверхности и в поле зрения. Соблюдение этих требований определяется размещением светящих поверхностей в поле зрения, а также расположением источников света или светильников относительно отражающей поверхности в установках отраженного света или относительно рассеивателя в светящих панелях.

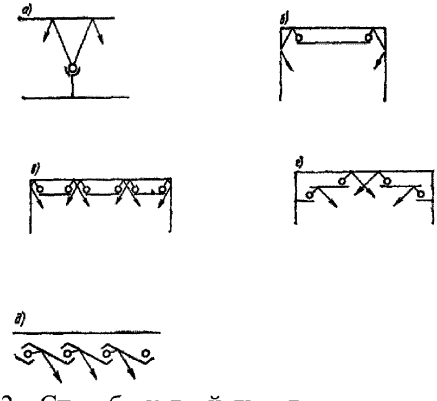


Рисунок 3.2 – Способы устройства отраженного освещения:
а – напольные светильники отраженного света; б – «парящий» потолок; в – накладной и вырезанный потолки; г – ступенчатый потолок: д – падуги

3.1.37 В ОУ отраженного света со световыми карнизами основными отражающими поверхностями являются потолок и часть стен, расположенная выше карниза. Основное требование к таким установкам заключается в обеспечении равномерного распределения яркости вдоль светящего карниза, значительно меньшие требования предъявляются к распределению яркости в плоскости, перпендикулярной к светящему карнизу. Источники света и отражатели светильников, расположенные в карнизе, должны быть полностью экранированы от поля зрения наблюдателя, находящегося в освещаемом помещении. Установки отраженного света могут быть выполнены не только в виде светящего потолка, но и в виде отдельных светящих ниш, расположенных в плоскости потолка или стен. В первом случае световые карнизы с осветительными средствами размещаются вдоль всех четырех стен помещения или вдоль двух продольных стен на определенном расстоянии от потолка.

Значение КПД ОУ отраженного света зависит от значений коэффициентов отражения карниза, потолка и стен помещения, расположенных выше карниза, а также формы карниза (карниз должен быть достаточно широким и по возможности неглубоким). При этом лампы и другое оборудование карниза следует располагать ниже визирной линии (рисунок 3.3), проведенной через верхний край козырька карниза и глаза человека, расположенного на наибольшем удалении от карниза.

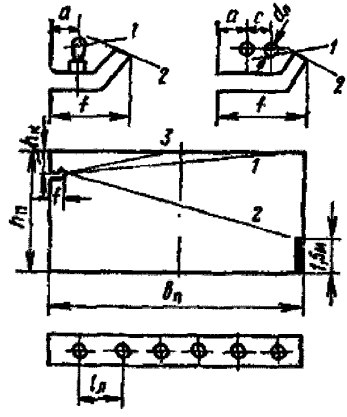


Рисунок 3.3 – Световой карниз: 1 – створная линия; 2 – визирная линия; 3 – дополнительный створ

Кроме того, козырек карниза не должен экранировать прямых лучей, падающих на потолок от лампы или светильника, т.е. не должен быть выше створной линии, соединяющей нижнюю точку светящего элемента лампы или светильника (трубки люминесцентной лампы, нити лампы накаливания) с противоположным краем потолка или при наличии двухсторонних карнизов – с продольной осевой линией потолка.

Равномерность распределения яркости по отражающей поверхности зависит от типа источника света (светильника) и их размещения в световом карнизе, ширины помещения $b_п$, высоты размещения потолка над световыми карнизами (над световым центром лампы) $h_к$, от типа светового карниза (одно-двухсторонний, замкнутый), расстояния центра ближайшей лампы до стены a, расстояния между световыми центрами соседних ламп $l_л$, расстояния между рядами люминесцентных ламп (между осями ламп) c, максимального расстояния карниза от стены f, расстояния между люминесцентными лампами $l_{лл}$ (рисунки 3.3, 3.5). Люминесцентные лампы обычно монтируются на панелях, на которых размещаются ПРА, патроны и стартеродержатели. Отражателями являются панель, поверхность карниза, стена и потолок. Требуемая равномерность распределения яркости обеспечивается при $b_п/h_k \leq 5$ при двухстороннем и $b_п/h_k \leq 2$ – при одностороннем карнизе. Эти условия трудно осуществимы, поэтому для увеличения соотношений используют плоские зеркальные вставки, которые позволяют увеличить значение $b_п/h_k$ соответственно до 7 и 3. Расположение и размер зеркальной вставки определяются согласно рисунку 3.4. Створная линия составляет угол α с горизонталью, проведенной через центр лампы. Края зеркальной вставки определяются построением, указанным на рисунке 3.4, на котором углы α и β образуются пересечением касательной к лампе с основанием карниза. При этом минимальная ширина зеркала определяется параллельными прямыми AB и CD, максимальная CE – углом β. Увеличение размера зеркальной вставки до CE означает, что сила света будет усилена в пределах большего угла. При этом зеркальная вставка не должна быть видна из любых точек наблюдения в помещении.

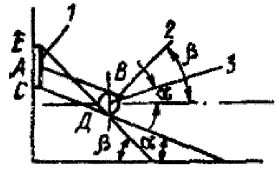


Рисунок 3.4 – Расположение зеркальной вставки:
1 – зеркало; 2 – направление к четверти ширины потолка; 3 – направление на удаленный край или центр потолка

Так, лучшие результаты достигаются при использовании криволинейных зеркал или зеркальных ламп. Значительно проще создать требуемое распределение яркости при наличии сферических или цилиндрических сводов. При таких условиях удовлетворительное распределение яркости наблюдается при любых значениях h_k. Достаточная равномерность распределения яркости при этом обеспечивается при $h_k/a \leq 3{,}5$. Даже при увеличении этого соотношения распределение яркости может считаться допустимым, однако в этом случае коэффициент использования резко снизится. Практика показала, что значения расстояния от лампы до стены (a) при однорядном расположении ламп должно находиться в пределах 120 – 150 мм, при многорядном – составлять не менее 75 мм. Чтобы избежать при многорядном расположении ламп возможного снижения яркости стены напротив разрыва между лампами используется сдвиг рядов ламп на 80 – 100 мм по длине карниза (рисунок 3.5).

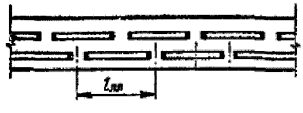


Рисунок 3.5 – Двухрядное размещение люминесцентных ламп в карнизе

Зеркальные лампы концентрированного светораспределения нашли применение при карнизном освещении. Они позволяют создавать равномерное распределение яркости по поверхности потолка освещаемого помещения ближе к его центру, что особенно важно для широких помещений. Недостатком применения

таких ламп является наличие ярких пятен, создаваемых на потолке вблизи карниза, для исключения которых необходимо располагать карниз возможно дальше от потолка ($h_k \geq 1{,}5$ м). Для сокращения ширины карниза f лампы следует устанавливать как можно ближе к стене. Ось лампы должна быть направлена на противоположный край потолка как при одностороннем, так и при двухстороннем расположении карнизов (рисунок 3.6); соотношение b_n/h_k, при зеркальных лампах и двухстороннем расположении карниза увеличивается до 7,5. Зеркальные лампы устанавливаются со значительными разрывами, достигающими 2 м, поэтому чаще всего при их использовании применяется одиночная установка патронов на скобах, обеспечивающих регулирование угла наклона лампы.

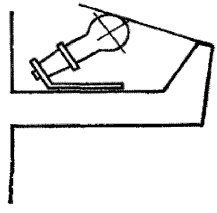


Рисунок 3.6 – Использование зеркальных ламп в световых карнизах

Светодиоды также используются в карнизах. Требования по применению ЛЛ справедливы и для СД. Применение СД (ретрофитов) в матированной колбе незначительно повышает равномерность распределения яркости. Максимальное отношение $l/h_к$ не должно превышать 1,5. При горизонтальном расположении ламп в карнизе $l/h_к$ допускается увеличивать до 2 при СД лампах-ретрофитах в прозрачной колбе.

Коэффициент использования ОУ карнизного освещения $K_{о.у.к.}$ при расчете освещенности на полу или на любой горизонтальной поверхности определяется по формуле:

$$K_{о.у.к.} = \eta_к K_{п.р}, \tag{3.1}$$

где $K_{о.у.к.}$ – коэффициент использования установки карнизного освещения; $K_{п.р.}$ – коэффициент использования светового потока карниза, $\eta_к$ – КПД карниза.

КПД карниза определяется с учетом формы свода по формуле

$$\eta_к = 1-\xi(1-\rho)/\left[1-\rho(1-A_{СВ}/A_{ОТР})\right], \qquad (3.2)$$

где ξ – доля светового потока источников, падающая на отражающую поверхность карниза, равная отношению значения двухгранного угла в градусах, в пределах которого поток падает на эту поверхность, к 360°; ρ – коэффициент отражения поверхности карниза; $A_{св}$ – площадь выходного отверстия карниза; $A_{отр}$ – площадь отражающей поверхности карниза.

Практика расчета и эксплуатации карнизов показала, что КПД карнизов имеет значение, близкое к 60%. Значение ρ рекомендуется принимать равным 0,5, учитывая в карнизах наличие проводов и плохо отражающих конструктивных частей. При карнизном освещении коэффициент z, характеризующий неравномерность освещения, не учитывается, так как этот вид освещения создает достаточно высокую равномерность и рассчитывается по средней освещенности.

3.1.38 В настоящее время нашли применение световые потолки рассеянного света, через которые в светлое время суток осуществляется естественное освещение помещения, а в вечернее и ночное – искусственное от светильников, расположенных в полости фонарей. Часто встречаются световые потолки только искусственного света, выполненные светильниками с люминесцентными лампами или только одними лампами, расположенными за плоскостью светового потолка.

3.1.39 Световые потолки могут выполняться в виде сплошной поверхности или световых полос. Для светящих потолков используются источники света, установленные в коробе, перекрытом рассеивателем (молочным органическим стеклом), или светильники, расположенные в технической полости над рассеивателем такого же типа.

При ширине светящей панели, превышающей 2 м, и достаточной высоте над рассеивателем целесообразно использовать светильники, так как это увеличивает КПД светового устройства. Основное требование к светящим потолкам заключается в равномерном распределении яркости по светящей поверхности. Предельно допустимым значением яркости для светящего потолка следует считать 2000 кд/м^2 в высоких и 1000 кд/м^2 – в низких помещениях (при высоте менее 6 м). Чем

равномернее распределение яркости по светящему потолку, тем благоприятнее он воспринимается глазом.

При наличии над световым потолком высокой технической полости применяются светильники прямого света с ЛЛ или СД, подвешиваемые над светящей поверхностью. Расположение светильников или рядов светильников должно быть таким, чтобы обеспечивалось равномерное распределение яркости по светящему потолку. Для выполнения этого условия наибольшее относительное расстояние между соседними излучателями или их сплошными рядами не должно превышать значений, указанных в таблице 3.4.

При подвесных потолках лампы обычно устанавливаются без отражателей, роль отражателя играет побеленная поверхность несущего перекрытия. Такое устройство удобно применять с ЛЛ. Для светящего потолка или светящих полос следует использовать светильники-блоки прямого света с открытыми ЛЛ. Светильники с ЛЛ следует устанавливать сплошными рядами над рассеивающим стеклом панели. На чердаке светильники могут крепиться непосредственно к кровле, подвешиваться на тросах или устанавливаться на металлических стойках, используемых для натяжки проводов электрической сети.

Таблица 3.4 – Предельные значения отношения $l_{СВ}/h_{СВ}$

Излучатель	Тип кривой силы света излучателя	Значения отношения $l_{СВ}/h_{СВ}$	
		рекомендуемое	допустимое
Точечный	Глубокая	0,7	0,9
Точечный	Косинусная	1,0	1,5
Точечный	Равномерная	1,2	1,8
Линейный	Косинусная	1,2	1,8
Линейный	Равномерная	1,4	2,4

3.1.40 Для обслуживания светильников на чердаках, над остеклением устраиваются переходные мостики, по которым можно подойти к светильнику. Мостики, расположенные близко к остеклению, могут создавать затенения под ними, а расположенные на достаточной высоте над остеклением мало удобны для обслуживания светильников, поэтому для обслуживания светильников используются передвижные мостики или укладываются доски на время обслуживания светильников. При обслуживании со стороны помещения стекло рассеивателя, имеющее малую массу, легко сдвигается в сторону. Кроме молочного

органического стекла находят широкое применение рифленые рассеиватели.

При большой мощности ламп, размещенных в световом потолке, выделяется значительное количество тепла, для устранения которого необходимо устройство вентиляции чердака или полости, где размещены лампы.

3.1.41 Световые устройства, встроенные в стены (окна, ниши и т.п.), выполняются на тех же основаниях, которые выше рассмотрены для световых потолков.

С помощью световых окон со светодиодами и люминесцентными лампами легко имитировать дневное освещение в помещениях без естественного света. Глубина световых окон обычно ограничена строительными решениями, а слепящее действие их сказывается значительно больше, чем при устройстве светового потолка той же яркости, поэтому яркость световых окон не должна превышать 250 – 500 кд/м^2 и лишь в отдельных наиболее благоприятных случаях (светлый окружающий фон) – 1000 кд/м^2. Наиболее благоприятное равномерное распределение яркости по светящему окну достигается при соблюдении требований п. 3.1.40. Хороший результат получается при использовании ниш отраженного света.

3.1.42 Наряду с рассеивающим органическим стеклом в световых потолках применяются экранирующие решетки, использование которых приводит к значительному снижению температуры воздуха в зоне расположения ламп. Решетки изготавливаются литьем из пластмасс или собираются из различных элементов. Для литья используется прозрачный, или замутненный полистирол, литьевое оргстекло или другие материалы. Решетку отливают в виде отдельных секций.

Экономичность осветительного устройства мало зависит от материала решетки и соотношения его коэффициентов пропускания и отражения. Значение имеет только коэффициент поглощения.

Определяющим при расчете размеров элементов решетки является заданный защитный угол. Для помещений общественных зданий защитный угол принимается равным 30° и 45°. Решетки с защитным углом 45° лучше экранируют лампы и другие монтажные элементы, поэтому имеют более декоративный вид, хотя несколько снижают КПД установки. Так как защитный угол в основном

определяется отношением высоты и ширины элемента решетки, то при изменении этих элементов в равном отношении значение защитного угла остается постоянным, КПД светового потолка также не изменяется. Это позволяет выбирать размеры решеток по архитектурным и конструктивным показателям. Отметим, что мелкие ячейки создают концентрированное светораспределение, более крупные и высокие – широкое.

Основным требованием к взаимному расположению ламп и решеток, является равномерное распределение яркости по поверхности решетки, для этого необходимо, чтобы каждая планка решетки была освещена с двух сторон. При соблюдении этого требования и защитных углов решетка может иметь любой произвольный рисунок, что предоставляет широкие возможности архитекторам для создания разнообразных решеток.

3.1.43 Расчет светового потолка начинается с определения коэффициента использования светового потока источников света η, установленных над световым потолком, по формуле

$$\eta = \eta_o \eta_T \sigma \tau \eta_p \text{ или } \eta = \eta_o \eta_T \sigma \tau \eta_c, \quad (3.3)$$

где η_o – коэффициент полезного действия светильников, расположенных над рассеивателем светового потолка; η_T – коэффициент использования светового потока светильников относительно отражающих поверхностей, ограничивающих пространство расположения светильников; σ – отношение светопрозрачной части потолка к его общей площади, включая непрозрачные части переплетов; τ – коэффициент пропускания светопрозрачного материала; η_p – коэффициент использования светового потока, прошедшего через световой потолок относительно горизонтальной расчетной поверхности; η_c – относительно стен.

Для определения η_p и η_c пользуются графиком зависимости коэффициента первичного использования η_p' от индекса помещения i (рисунок 3.7), построенные для различных показателей m, характеризующих светораспределение элементов потолка. Кривая $m = 1$ предназначена для потолков из рассеивающих стекол, $m = 2$ – при решетках с защитным углом 30° и $m = 4$ – при решетках с защитным углом 45°.

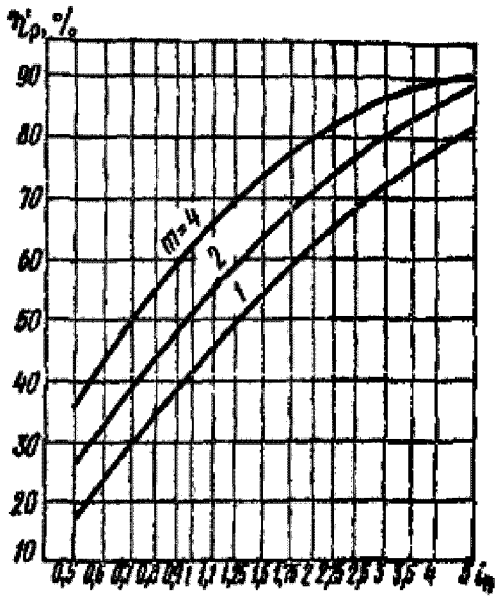


Рисунок 3.7 – График зависимости коэффициента первичного использования

Коэффициент первичного использования светового потока относительно стен η_c' определяется по формуле

$$\eta_c' = 1 - \eta_p'. \tag{3.4}$$

Для определения значений η_p и η_c пользуются следующими формулами:

$$\eta_p = \eta_p' K_{p.p.} + \left(1 + \eta_p'\right) K_{c.p.}, \tag{3.5}$$

$$\eta_c = \left(1 - \eta_p'\right) K_{c.c.} + \eta_p' K_{p.c.}, \tag{3.6}$$

где η_p – коэффициент первичного использования светового потока относительно расчетной поверхности; $K_{p.p.}$ – коэффициент использования светового потока, падающего на расчетную поверхность, относительно расчетной поверхности; $K_{c.p.}$ – коэффициент использования светового потока, падающего на стены, относительно расчетной поверхности; $K_{c.c.}$ – коэффициент использования светового потока, падающего на стены относительно стен; $K_{p.c.}$ – коэффициент использования светового потока, падающего на расчетную поверхность относительно стен.

Однако значения η_p и η_c могут быть получены и более простым путем:

$$\eta_p = K_{n.p.} / \rho_n \text{ и } \eta_c = K_{n.c.} / \rho_n.$$

Т. к. коэффициенты использования потока, падающего на потолок относительно расчетной поверхности, $K_{n.p.}$ или стен – $K_{n.c.}$ могут рассматриваться как произведения коэффициента отражения потолка на коэффициент использования

отраженного потолка в расчетной поверхности или стен ($K_{п.р.}$ или $K_{п.с.}$). Оба эти метода равноценные, $\rho_п$ – даются только для диффузных поверхностей, при потолках из экранирующих решеток следует пользоваться формулами (3.5) и (3.6).

В формуле (3.3) первые четыре множителя определяются конструкцией светового потолка; $\eta_о \cdot \eta_Т$ – коэффициент использования излучателей, установленных над световым потолком, относительно потолка. Расчет этого произведения для нетиповых светильников не вызывает затруднения, а для типовых может быть определен по таблицам, на основании индекса помещения, в котором используются светильники. Если $i > 5$, то при светильниках прямого света произведение $\eta_о \cdot \eta_Т$ можно принимать равным КПД светильника. При высоте помещения, во много раз меньшей длины или ширины помещения, и коэффициенте отражения 0,6 и более значение $\eta_о \cdot \eta_Т$ можно считать равным 0,8. Значение коэффициента σ рассчитывается по конструктивным чертежам потолка. Если между отдельными секциями со светопрозрачными элементами отсутствуют непрозрачные промежутки, то σ = 0,9. Значение коэффициента τ определяется свойствами светопрозрачного материала или защитным углом решетки. Его значения составят:

- для молочного органического стекла – 0,63;
- для экранирующей решетки с защитным углом 30° – 0,6;
- то же, с защитным углом 45° – 0,45.

3.2 Освещение административных помещений

3.2.1 Для освещения помещений следует, как правило, предусматривать светодиодные светильники, светильники с люминесцентными лампами. Для работ, связанных с контролем цвета, с очень высокими требованиями к цветоразличению (подбор красок для цветной печати) – индекс цветопередачи источников света должен быть не менее $R_a \geq 90$ и цветовая температура 5000 – 6500 К; для сопоставления цветов с высокими требованиями к цветоразличению (картографические работы, выставочные залы, залы рассмотрения архитектурных проектов) – индекс цветопередачи источников света должен быть не менее $R_a \geq 85$ и цветовая температура 3000 – 6500 К; для общего восприятия интерьера (фойе,

вестибюли) – индекс цветопередачи источников света должен быть не менее $R_a \geq 80$ и цветовая температура 2700 – 4500 К. Наилучшие технико-экономические показатели достигаются за счет применения светильников со светодиодами.

3.2.2 В киноаппаратной, перемоточной, радиоузле, в технических помещениях без постоянного пребывания людей, в кладовых, на технических этажах и чердаках, в охлаждаемых камерах пищеблоков и т.п. применяют светодиоды, люминисцентные лампы.

3.2.3 Для освещения фойе, вестибюлей, конференц-залов и т.д. используют светодиодные, люминисцентные (в том числе компактные) лампы и металлогалогенные лампы.

3.2.4 Для освещения основных помещений могут использоваться подвесные, потолочные встраиваемые светильники со светодиодами и люминесцентными лампами прямого, преимущественно прямого и рассеянного света с кривой силы света в нижней полусфере типов Д и Г. Для рабочих помещений наиболее целесообразно применять светильники с двухлучевой кривой силы света в поперечной плоскости (по типу полуширокой Л) с максимальным значением силы света под углами 35 – 45° и ограничением светового потока в зонах углов 0 – 30° (для снижения отраженной блескости) и 60 – 90° (для снижения прямой блескости). При выборе светильника для рабочих помещений рекомендуется использовать также светильники, часть светового потока которых направлена в верхнюю полусферу. Если позволяет высота помещения (3 м и более), целесообразно использовать подвесные светильники. При выборе потолочных светильников следует отдавать предпочтение тем, которые имеют небольшую долю светового потока в верхней полусфере (5 – 15%) со свето-рассеивающими боковинами, с выступающими из потолка рассеивателями.

3.2.5 Для освещения рабочих помещений, как правило, следует применять систему общего равномерного и локализованного освещения. Для возможности применения системы комбинированного освещения, предусмотренной нормами, в конструкторских, чертежных, проектных залах и кабинетах, читальных залах, рабочих комнатах и других помещениях следует предусмотреть сеть штепсельных

розеток для осветительных приборов местного освещения.

3.2.6 Для устранения отраженной блескости, возникающей на полированной поверхности столешницы, кальке или глянцевой бумаге при конторской или чертежной работе, расположение светильников общего освещения следует выбирать в зависимости от расположения рабочих мест. Поэтому в помещениях таких зданий следует предусматривать локализованное относительно рабочих мест размещение светильников.

Светильники размещают таким образом, чтобы отраженная блескость не попадала в поле зрения работающих. Если рабочие места установлены рядами так, что линия зрения работающих направлена вдоль длинной стороны помещения, то ряды светильников с кривыми силы света типов Л, Д или Г желательно размещать вдоль линии зрения над проходами (рисунок 3.8, а). Если линия зрения всех работающих направлена в одну сторону, то полного исключения прямой и отраженной блескости можно добиться, размещая светильники одностороннего светораспределения рядами, перпендикулярными линии зрения, так, чтобы световой поток падал на рабочие места из-за головы работающего (рисунок 3.8, б). При отсутствии специальных светильников для этой цели можно использовать светильники прямого света с решетками с кривой силой света типа Г, устанавливая их в наклонном положении под углами 30 – 40°. Ряд светильников над последними рабочими местами следует размещать вплотную к стене помещения. Решетка, перекрывающая выходное отверстие светильников, снизит его слепящее действие для тех, кто кратковременно изменяет направление линии зрения (например, проходит между рядами). Может быть рекомендован и другой способ размещения светильников одностороннего светораспределения – вдоль линии зрения, параллельно окнам (рисунок 3.8, в). В этом случае свеьтльников ориентируются так, чтобы их осевая сила света была направлена под углом 35 – 40° к вертикали с левой стороны от работающего.

3.2.7 Защитой от отраженной блескости экранов мониторов является ограничение значений силы света светильников под углами, близкими к горизонтали (например, использование в качестве рассеивателя зеркалированной

решетки с элементами параболического профиля).

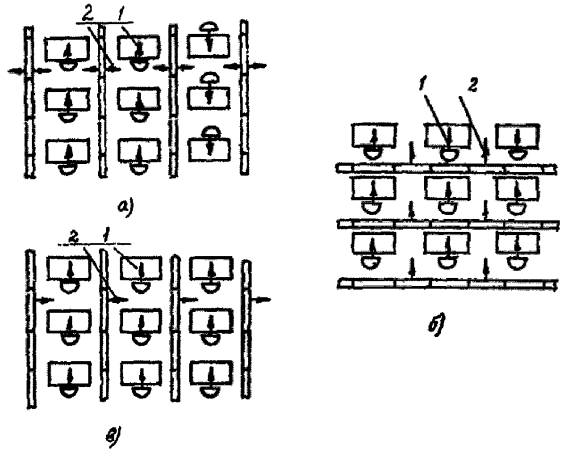


Рисунок 3.8 – Взаимное расположение рабочих мест и светильников в рабочих залах: 1 – направление линии зрения работающего; 2 – преимущественное направление светового потока светильников

3.2.8 При произвольном расположении рабочих мест, когда линии зрения работающих направлены в разные стороны помещения, следует применять светильники отраженного света (как исключение допускается применять световые потолки).

3.2.9 При отсутствии данных о расстановке мебели следует учитывать, что ее наиболее возможное и целесообразное размещение выполняется исходя из ориентации линии зрения вдоль стены с окнами, так чтобы естественный свет падал с левой стороны. В качестве основного способа освещения рабочих залов используется размещение светильников вдоль стен с окнами. Для освещения небольших рабочих комнат применяется также система общего равномерного освещения с направлением рядов или длинных сторон светильников вдоль линии зрения.

3.2.10 Отношения расстояния между рядами светильников к высоте их установки над освещаемой поверхностью, обеспечивающие необходимую равномерность освещения, рекомендуется принимать следующими: 0,8 – 1,2 – для

светильников с экранирующими решетками; 1,2 – 1,4 – для прочих исполнений светильников. Расстояние от крайних рядов до стен не должно превышать 0,25 – 0,3 расстояния между соседними рядами.

3.2.11 Для компенсации снижения освещенности у концов рядов светильников (особенно если длина ряда более чем втрое превышает расчетную высоту) могут быть использованы следующие приемы: удвоение числа светильников на концах рядов на расстояние не менее $0{,}5h$ установка дополнительных светильников у торцевых стен между рядами; если светильники размещены не сплошными рядами, то по мере приближения к концу ряда разрывы между светильники постепенно уменьшаются, а на концах рядов светильники устанавливаются без разрывов.

3.3 Освещение помещений дошкольных образовательных учреждений

3.3.1 Основными помещениями дошкольных учреждений являются: раздевальные, групповые, игральные, столовые, комнаты для музыкальных и гимнастических занятий, спальные.

3.3.2 В основных помещениях зданий дошкольных учреждений, как правило, следует применять систему общего освещения. Исключением является классная доска, для освещения которой следует устанавливать специальные светильники.

3.3.3 Комбинированную систему освещения следует применять, в приемных дошкольных учреждений.

3.3.4 Общее локализованное освещение допускается применять в помещениях, где рабочие места расположены группами (например, различного рода мастерские, кружки, зоны психологической разгрузки).

3.3.5 Для общего и общего локализованного освещения следует использовать люминистцентные лампы, компактные люминесцентные лампы:

- в помещениях, где производится сопоставление цветов с высокими требованиями к цветоразличению (кабинеты рисования) – источники света с индексом цветопередачи $R_a \geq 90$ и цветовой температурой $T_ц = 3000–6500$ К;

- в помещениях, где производится различение цветных объектов при

невысоких требованиях к цветоразличению (кабинеты кружков, игральные, обеденные залы, крытые бассейны, спортзалы) – источники света с индексом цветопередачи $R_a \geq 80$ и цветовой температурой $T_ц = 3500–5500$ К;

- в помещениях, где требования к цветоразличению отсутствуют (библиотеки, раздевальные, групповые) – источники света с индексом цветопередачи $R_a \geq 80$ и цветовой температурой $T_ц = 2700–4500$ К;

- актовые залы, вестибюли, рекреации – источники света с индексом цветопередачи $R_a \geq 80$ и цветовой температурой $T_ц = 2700–4500$ К.

3.3.6 Для освещения помещений дошкольных учреждений следует, как правило, использовать светильники рассеянного света, но допустимы светильники преимущественно прямого света. Следует отдавать предпочтение равномерной кривой силы света (типа М), допустимы полуширокая (типа Л) и косинусная (типа Д) кривые сил света.

Как пример, на рисунке 3.9 дан пример размещение ОП и схема групповой сети освещения в ячейке детского сада-яслей, состоящей из раздевальной, групповой и спальни.

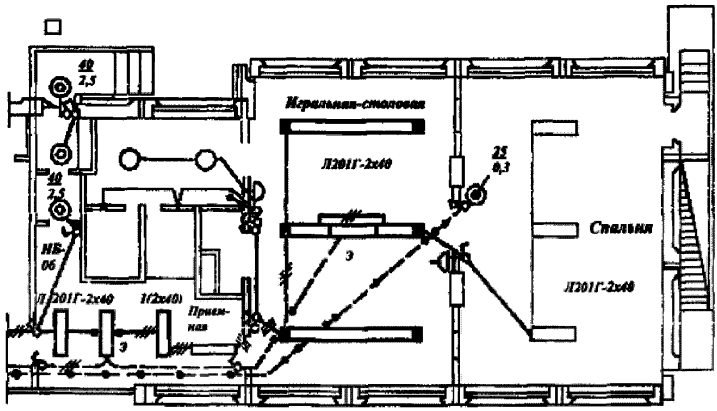


Рисунок 3.9 – Схема размещения светильников в ячейки детского сада-яслей

3.3.7 Для создания комфортной световой среды стены и потолки помещений учреждений дошкольного образования рекомендуется окрашивать матовыми

красками светлых тонов с коэффициентами отражения: потолки – 70%, стены – 50–60%.

3.3.8 Для соблюдения нормируемых СП 52.13330 значений коэффициентов пульсации и снижения уровня шумов в помещениях дошкольных учреждений (групповые, игральные, комнаты для музыкальных занятий), следует применять светильники с электронными пускорегулирующими аппаратами.

3.3.9 В зданиях дошкольных учреждений эвакуационное освещение следует устраивать в групповых, игральных-столовых, приемных, раздевальных, коридорах, на лестничных клетках, в кухнях и стирально-разборочных независимо от числа детей. Эвакуационное освещение должно обеспечивать освещенность на полу основных проходов и на ступеньках лестниц не менее 0,5 лк, на поверхности воды ванн бассейнов для плавания не менее 5лк.

3.3.10 Для дежурного освещения и освещения для уборки коридоров, залов, вестибюлей и других подобных помещений следует выделять часть светильников рабочего освещения, присоединяемых к отдельной групповой линии. В актовых и обеденных залах и других помещениях, где могут одновременно пребывать более 100 человек, должны устанавливаться световые указатели «Выход», подключаемые к отдельной линии аварийно-эвакуационного освещения или имеющие аккумуляторную батарею.

3.3.11 Для дежурного (ночного) освещения спальных помещений, помещений для заболевших детей и в палатах изоляторов детских садов-яслей следует применять специальные светильники со стеклом синего цвета и экранирующей решеткой, присоединенные к сети аварийного освещения. При установке этих светильников (вблизи от выходов) на высоте, доступной для детей, должно применяться напряжение не более 42 В.

3.4 Освещение помещений общеобразовательных школ и высших учебных заведений

3.4.1 Основными помещениями школ являются классные комнаты, аудитории, учебные кабинеты, лаборатории, кабинеты информатики и

вычислительной техники, мастерские, кабинеты труда, актовые залы, спортивные залы, кабинеты и комнаты преподавателей.

3.4.2 В основных помещениях зданий школ, как правило, следует применять систему общего освещения. Исключением является классная доска, для освещения которой следует устанавливать специальные светильники.

3.4.3 Комбинированную систему освещения следует применять в кабинетах информатики и вычислительной техники, в мастерских (например, по обработке металлов и древесины).

В кабинетах и комнатах преподавателей, в комнатах кружков, читальных залах для местного освещения следует предусматривать штепсельные розетки.

3.4.4 Общее локализованное освещение допускается применять в помещениях, где рабочие места расположены группами (например, различного рода мастерские, кабинеты домоводства, зоны психологической разгрузки учащихся).

3.4.5 Для общего и общего локализованного освещения следует использовать светильники со светодиодами и люминистцентными лампами:

- в помещениях, где производится сопоставление цветов с высокими требованиями к цветоразличению (кабинеты рисования, обслуживающих видов труда, лаборатории химии) – источники света с индексом цветопередачи $R_a \geq 90$ и цветовой температурой $T_ц = 3000–6500$ К;

- в помещениях, где производится различение цветных объектов при невысоких требованиях к цветоразличению (кабинеты кружков, игральные, обеденные залы, крытые бассейны, спортзалы) – источники света с индексом цветопередачи $R_a \geq 80$ и цветовой температурой $T_ц = 3500–5500$ К;

- в помещениях, где требования к цветоразличению отсутствуют (классные комнаты, аудитории, учебные кабинеты, библиотеки) – источники света с индексом цветопередачи $R_a \geq 80$ и цветовой температурой $T_ц = 2700–4500$ К;

- актовые залы, вестибюли, рекреации – источники света с индексом цветопередачи $R_a \geq 80$ и цветовой температурой $T_ц = 2700–4500$ К.

3.4.6 Для общего освещения учебных помещений школ следует применять светильники преимущественно прямого и рассеянного света. Светильники

рекомендуется размещать рядами, параллельно длинной стороне помещения с окнами, как показано на рис. 3.10, с раздельным включением и отключением рядов. Ряды должны быть по возможности непрерывными или с разрывами, не превышающими 0,5 расчетной высоты.

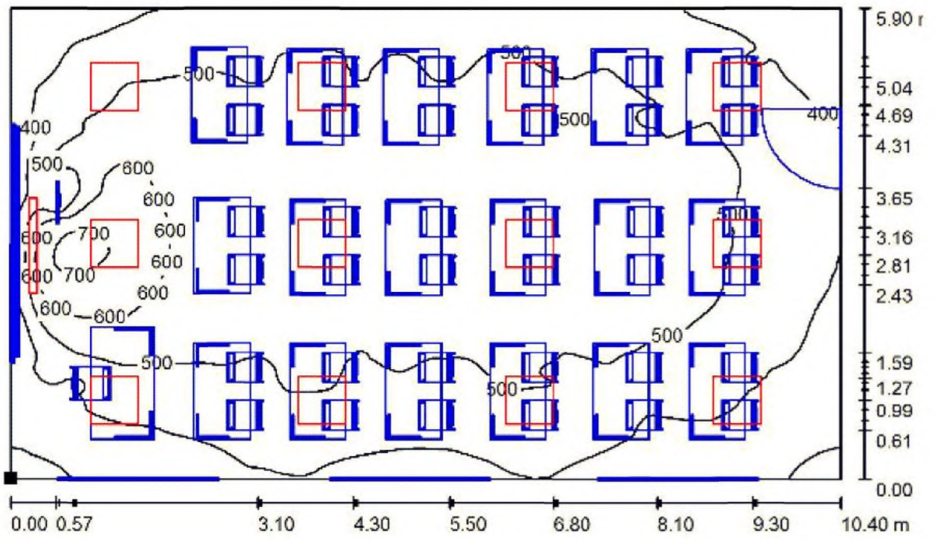


Рисунок 3.10 – Схема размещения светильников в классе

3.4.7 Для освещения классной доски рекомендуется применение светильников с несимметричным светораспределением размещенными параллельно плоскости доски либо непосредственно над доской, либо установленными на потолке. Допускается освещение классной доски светильниками прямого света, установленными наклонно.

3.4.8 Для общего освещения кабинетов информатики и вычислительной техники следует применять светильники с защитными углами 35–45°, размещенными по потолку рядами, параллельно светопроемам. Рабочие места с дисплеями должны располагаться между рядами светильников таким образом, чтобы линия зрения пользователей была параллельна световым линиям. Яркость светильников в пределах защитного угла, попадающих в поле зрения пользователей или отражающихся в экране монитора не должна превышать 200 кд/м^2. Максимальная яркость поверхностей в помещении не должна превышать 400 кд/м^2.

При устройстве комбинированного освещения светильник местного освещения должен использоваться исключительно для освещения горизонтальной поверхности стола. Защитный угол светильника местного освещения должен быть не менее 40°.

3.4.9 Для освещения кабинетов технического черчения и рисования следует применять светильники преимущественно прямого и рассеянного света с КПД не менее 55%.

3.4.10 Освещение актовых залов, как правило, следует выполнять рядами светильников со светодиодами и люминистцентными лампами. Для обеспечения благоприятных условий тенеобразования на объемных предметах и лицах людей в интерьере отношение $E_{гор.}/E_{цил.}$ должно быть в пределах 1,6 – 3.

3.4.11 Освещение эстрад или сцен следует, как правило, выполнять светильниками акцентирующего освещения со светодиодами и МГЛ, устанавливаемыми на потолке или на боковых стенах. Источники света в светильниках должны быть скрыты от глаз зрителей.

3.4.12 В читальных залах библиотек следует применять систему общего освещения рядами светильников со светодиодами и люминистцентными лампами. Для подключения переносной аппаратуры необходимо предусматривать розетки. Освещение книгохранилищ следует выполнять светильниками, устанавливаемыми по оси каждого прохода между стеллажами, светильники не должны мешать доступу к книжным полкам. Исполнение светильников должно выбираться в соответствии с требованиями, установленными в пожароопасных зонах класса II-IIа (см. п. 3.1.16 настоящего пособия).

3.4.13 Для освещения крытых бассейнов следует использовать брызгозащищенные светильники с диффузными рассеивателями прямого или преимущественно прямого света, установленными на потолке или стенах над боковыми проходами. Места расположения светильников должны находиться в зоне, доступной для обслуживания.

3.4.14 Освещение спортивных залов следует выполнять светильниками со светодиодами и люминистцентными лампами, установленными на потолке вдоль боковых стен или наклонно по боковым стенам. Предпочтительны осветительные

установки отраженного света. Для защиты от удара мячом светильники следует закрывать металлическими решетками.

3.4.15 Значения коэффициентов отражения парт, потолка, стен и пола должны быть не менее 0,4; 0,7; 0,5; 0,3.

3.4.16 Соотношения яркостей между отдельными поверхностями, находящимися в поле зрения учащихся, не должны превышать следующих соотношений: между книгой, тетрадью и декой парты 3 : 1, между тетрадью, книгой и дальним фоном (стеной, полом) – 10 : 1, между светильником и его фоном – 20 : 1.

3.4.17 Для обеспечения комфортных условий в помещении из поля зрения учащихся следует исключать зеркально отражающие поверхности.

3.4.18 Для соблюдения нормируемых СП 52.13330 значений коэффициентов пульсации и снижения уровня шумов в учебных помещениях (классах, кабинетах, лабораториях) и помещениях дошкольных учреждений (групповые, игральные, комнаты для музыкальных занятий), как правило, следует применять светильники с электронными пускорегулирующими аппаратами. Допускается использование многоламповых светильников с электромагнитными пускорегулирующими аппаратами, состоящими из равного числа опережающих и отстающих ветвей и равного числа ламп.

3.4.19 Эвакуационное освещение в учебных зданиях следует устраивать по основным проходам, в рекреациях, на лестничных клетках, в мастерских, гардеробных, актовых залах, обеденных и спортивных залах, плавательных бассейнах, вестибюлях. В классах, кабинетах эвакуационное освещение не требуется. Эвакуационное освещение должно обеспечивать освещенность на полу основных проходов и на ступеньках лестниц не менее 0,5 лк, на поверхности воды ванн бассейнов для плавания не менее 5лк.

3.4.20 Для дежурного освещения и освещения для уборки коридоров, залов, вестибюлей и других подобных помещений следует выделять часть светильников рабочего освещения, присоединяемых к отдельной групповой линии. В актовых и обеденных залах и других помещениях, где могут одновременно пребывать более 100 человек, должны устанавливаться световые указатели «Выход», подключаемые

к отдельной линии аварийно-эвакуационного освещения или имеющие аккумуляторную батарею.

3.4.21 Для дежурного (ночного) освещения спальных помещений, помещений для заболевших детей и в палатах изоляторов школ-интернатов следует применять специальные светильники со стеклом синего цвета и экранирующей решеткой, присоединенные к сети аварийного освещения. При установке этих светильников (вблизи от выходов) на высоте, доступной для детей, должно применяться напряжение не более 42 В.

3.5 Освещение помещений лечебно-профилактических учреждений

3.5.1 Освещение лечебно-профилактических учреждений следует проектировать с учетом требований СП 52.13330 по проектированию лечебно-профилактических учреждений.

3.5.2 Световая среда лечебных учреждений помимо обеспечения условий работы медицинского персонала должна удовлетворять требованиям психофизиологического климата, способствующего выздоровлению больных. Одним из этих требований является обеспечение комфортности освещения палат: пятна повышенной яркости (источники света и блеские части светильников) не должны попадать в поле зрения больных, находящихся в горизонтальном положении. Это обеспечивается использованием схемы распределения света светильниками, показанной на рисунке 3.11 а) и б).

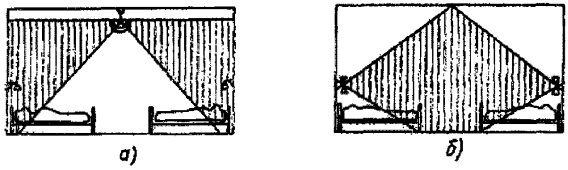


Рисунок 3.11 – Схема распределения света в палате лечебного учреждения: а – потолочным и местным светильниками; б – комбинированными прикроватными светильниками

Выполнение схем а) и б) осуществляется применением системы комбинированного освещения, практически рекомендуемой для всех помещений палат, за исключением послеоперационных, детских и психиатрических отделений. Световой поток направляется на потолок и вниз в центр комнаты, а зона изголовий кровати остается затененной. Дополнительно над кроватями на стенах устанавливаются светильники с отражателями (рисунок 3.12). Каждый светильник состоит из двух отражателей, свет от одного из которых направляется на потолок для общего отраженного освещения, а другого используется для МО изголовий. Удобны светильники, прикрепляемые непосредственно к кровати. Такие, светильники могут быть использованы и как переносные при осмотре больных. Светильники, изображенные на рисунке 3.12, обеспечивают больным возможность читать в лежачем положении.

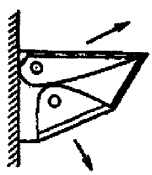


Рисунок 3.12 – Схема светильников для больничных палат

3.5.3 Для обеспечения нормированной освещенности в помещениях больничного комплекса применяется система общего освещения, при которой светильники общего освещения могут размещаться на потолке и на стенах равномерно или локализовано. Система общего освещения с равномерным расположением светильников применяется в кабинетах врачей, процедурных, регистратуре и др. Система общего локализованного освещения используется в помещениях, где требуется повышенная освещенность отдельных участков.

Светильники местного освещения предназначаются только для освещения рабочих мест и могут быть стационарными и переносными. Стационарные светильники устанавливаются в процедурных, смотровых, операционных, кабинетах физиотерапии и т.п.

Настенные светильники монтируют на высоте 1,7 м от пола. В кабинетах

врачей предусматриваются розетки для включения светильников местного освещения, устанавливаемых на высоте 0,9 м от пола.

3.5.4 Специальные требования предъявляются к освещению операционных в целях создания высокой освещенности и одновременно исключения теней от рук и головы хирурга и не допущения теплового нагрева оперируемого и головы хирурга.

Специальные светильники обеспечивают на операционном поле освещенность 10000 – 50000 лк. Освещенность может регулироваться изменением расстояния от светильника до оперируемого больного. Высокая освещенность обеспечивает возможность получить качественные изображения на телеэкране.

Кроме специального освещения стола, операционная должна иметь общее освещение. Оно может создаваться потолочными светильниками с ЛЛ брызгозащищенного исполнения со сплошным закрытым рассеивателем из опалового молочного или матового стекла. Кроме общего освещения для подключения специальных передвижных осветительных приборов предусматривается установка двухполюсной розетки на высоте 1,6 м.

Для продолжения операции при аварийном отключении рабочего освещения следует предусматривать аварийное освещение включением части ламп светильников в сеть аварийного освещения. Питание аварийного освещения осуществляется от независимого источника энергии, обычно от аккумуляторных батарей, на которые автоматически переключается сеть аварийного освещения при аварии с основным источником электроснабжения.

3.5.5 Кроме операционной аварийное освещение следует предусматривать в реанимационных, родовых, перевязочных, манипуляционных, процедурных приемных отделениях, лабораториях для срочных анализов и на постах дежурных медицинских сестер, пунктах неотложной помощи, в тепловых пунктах, насосных, электрощитовых. Аварийное освещение осуществляется стационарными светильниками с КЛЛ или ЛЛ. Для ночного дежурного освещения палат, кроме палат психиатрических и детских отделений, следует предусматривать светильники, расположенные в специальных нишах на высоте 0,3 м от пола. В детских, послеоперационных, реанимационных, интенсивной терапии и психиатрических

палатах предусматривается только общее освещение потолочными ОП со сплошными рассеивателями.

3.5.6 Общее освещение помещений, как правило, следует выполнять ЛЛ. Осветительные приборы с ЛЛ должны быть укомплектованы электронными ПРА с низким уровнем шума.

3.5.7 Для освещения помещений, предназначенных для осмотра больных (инфекционных, дерматологических, дерматовенерологических, операционных, хирургических, терапевтических, педиатрических и т.д.) следует использовать ЛЛ с индексом цветопередачи $R_a \geq 90$ и цветовой температурой $T_ц = 3000–6500$ К.

3.5.8 Для освещения помещений, предназначенных для приготовления пищи, административных, коридоров, вестибюлей и других помещений следует применять ЛЛ с индексом цветопередачи $R_a \geq 80$ и цветовой температурой $T_ц = 2700–4500$ К.

3.5.9 В кабинетах хирургов, травматологов, педиатров, дерматовенерологов, инфекционистов, аллергологов, стоматологов, врачей-лаборантов рекомендуется применять потолочные полностью закрытые светильники. В кабинетах врачей специалистов функциональной диагностики рекомендуются светильники преимущественно с КЛЛ. Для местного освещения используются настольные или настенные светильники.

Освещение помещений, предназначенных для осмотра больных, административных помещений, коридоров, вестибюлей, лестничных клеток и т.п. обеспечивается потолочными или встраиваемыми светильниками с ЛЛ, монтируемыми отдельно или полосами. Для выполнения гигиенических и светотехнических требований светильники должны быть перекрыты сплошными рассеивателями во избежание запыления и для обеспечения стерильных условий.

3.5.10 Общее освещение рентгенодиагностического кабинета, кабинетов рентгенобронхоскопии, лапароскопии, ангиографии выполняется светильниками с КЛЛ или ЛЛ, кроме того кабинеты оборудуются настенными светильниками. Кабинеты рентгенодиагностического отделения оборудуются световой сигнализацией.

Все кабинеты оборудуются розетками для подключения настольных ОП.

Общее освещение кабинетов рентгенодиагностики, рентгенобронхоскопии, лапароскопии выполняется закрытыми ОП. В офтальмологических кабинетах выполняется два вида освещения – общее и специальное.

Рентгенодиагностические кабинеты снабжаются кроме общего адаптационным и местным освещением. Адаптационное освещение выполняется установкой в центре кабинета ОП с КЛЛ или ЛЛ, управляемого врачом. Входы в кабинеты снабжаются световыми указателями с надписью «Не входить», устанавливаемыми над входными дверями и управляемыми врачом.

3.5.11 Для обеззараживания воздуха в операционных, перевязочных, инфекционных отделениях больниц, в приемных родильных домов следует устанавливать бактерицидные облучатели.

3.5.12 Эвакуационное освещение необходимо в коридорах, вестибюлях, на лестничных клетках.

3.5.13 Знаки безопасности (световые указатели) с надписью «Выход» следует устанавливать у входов на лестничные клетки и у выходов с первого этажа и из подвалов. Знаки безопасности (световые указатели) направления выходов следует предусматривать в коридорах.

3.6 Освещение помещений предприятий торговли

3.6.1 Основными помещениями предприятий торговли являются торговые залы, залы демонстрации новых товаров и фасонов одежды, примерочные кабины, помещения отделов заказов, бюро обслуживания, помещения для подготовки товаров к продаже, главные кассы, мастерские подгонки готового платья, рекламно-декорационные и ремонта оборудования и инвентаря.

3.6.2 Для общего и общего локализованного освещения помещений предприятий торговли, а также для подсветки товаров следует использовать, как правило, люминесцентные лампы, возможно применять ДРИ. В ряде случаев, когда целесообразны лампы накаливания следует применять зеркальные или галогенные лампы накаливания.

3.6.3 Для общего освещения торговых залов следует применять потолочные,

подвесные, настенные и встраиваемые в потолок светильники с люминесцентными лампами, в том числе компактными, освещающими стены помещений. Возможно использование световодов и световых потолков с МГЛ. В ряде случаев целесообразно применять светильники с галогенными лампами накаливания и отдельно галогенные лампы накаливания с отражателями мощностью 50 – 100 Вт на 12 В, установленные на шинопроводе.

Допускается использование нестандартных, разработанных по эскизам архитекторов светильников.

3.6.4 Освещение вертикальных поверхностей торговых стендов и витрин следует выполнять светильниками с зеркальными отражателями или зеркальными лампами с концентрированным и глубоким симметричным светораспределением.

3.6.5 При устройстве комбинированного освещения светильники местного освещения, как правило, следует встраивать в торговое оборудование или пристраивать к нему, при этом конструкция торгового оборудования должна экранировать источник света от покупателей.

3.6.6 В качестве информационных указателей, табло в крупных магазинах возможно использование одноламповых или двухламповых светильников с люминесцентными лампами, имеющих молочные рассеиватели.

3.6.7 Для освещения ювелирных магазинов, как правило, используется система комбинированного освещения, при местной подсветке светильниками акцентирующего освещения с лампами накаливания или галогенными лампами, экранированными от покупателей.

3.6.8 Освещение примерочных кабин следует выполнять светильниками, установленными выше зеркала, чтобы свет падал на грудь человека под углом 30 – 45° к вертикали.

3.6.9 При освещении помоста залов для демонстрации моды рекомендуется использовать светильники прямого света, обеспечивающие необходимое тенеобразование верхним и верхнебоковым светом.

3.6.10 Освещение кассовых кабин при недостаточности общего освещения следует выполнять подвесным светильником, либо пристраиваемым к

оборудованию светильником, установленным слева над кассовым аппаратом.

3.6.11 Освещение в наружных, витринах предприятий торговли, как правило, следует выполнять осветительными устройствами и светильниками преимущественно прямого светораспределения, размещенными в верхней зоне витрин. Местное освещение товаров следует осуществлять светильниками концентрированного или глубокого светораспределения, установленными на полу или на потолке витрины у наружного остекления, либо на импостах витрины.

3.6.12 При местном освещении особо ценных товаров (ювелирные изделия), расположенных в витрине, следует использовать систему волоконных световодов.

3.6.13 При небольшой высоте помещений киосков и палаток, освещение в них следует выполнять потолочными светильниками с непрозрачными боковинами и светорассеивающей экранирующей решеткой. Светильники размещаются над прилавками и товарной продукцией. Светильники должны соответствовать требованиям норм пожарной безопасности.

3.6.14 Во всех магазинах предусматривается рабочее освещение. В магазинах с торговыми залами общей площадью 90 м^2 и более, в торговых залах и по путям выхода из них оборудуется эвакуационное освещение. Во всех торговых залах самообслуживания также устраивается аварийное освещение. Аварийное освещение предусматривается в крупных магазинах в помещениях главной кассы, АТС, радиоузле, здравпункте, детской комнате и дебаркадере.

3.6.15 В складских и административных помещениях магазинов, а также в отдельных складских зданиях в случае пребывания в них одновременно более 50 человек, а также в местах, опасных для прохода людей, следует предусмотреть эвакуационное освещение.

3.6.16 В торговых залах, расположенных на первых этажах магазинов, и по путям эвакуации из них следует предусматривать ночное охранное освещение. В крупных торговых предприятиях целесообразна сеть ночного освещения, контролируемого из помещений охраны специальным подразделением милиции.

3.6.17 Выходы из магазинов с торговыми залами общей площадью 180 м^2 и более, а при самообслуживании – с торговыми залами 110 м^2 и более должны быть

отмечены световыми указателями с надписью «Выход».

3.6.18 Управление рабочим освещением в торговых залах площадью от 300 м^2 и более должно быть централизованным дистанционным.

3.6.19 Управление освещением световых указателей, входов в здание, номерных знаков должно быть автоматическим или дистанционным.

3.6.20 Для обслуживания светильников в актовых и спортивных залах, высота которых превышает 5 м, следует предусматривать в проектах передвижные телескопические вышки и выделять помещения для их хранения.

3.7 Освещение помещений педприятий общественного питания

3.7.1 Для общего, общего локализованного и комбинированного освещения помещений для посетителей следует использовать, светодиодные лампы светодиодные модули, люминесцентные лампы и металогалогеные источники света.

3.7.2 Локализованное освещение над баром или буфетной стойкой следует выполнять потолочными, встраиваемыми или подвесными светильниками. В отдельных зонах залов ресторанов возможно применение подвесных и встраиваемых светильников, устанавливаемых над столами, а также светильников местного освещения, устанавливаемых на столах, напольных и настенных светильников.

3.7.3 В ресторанах, барах и кафе, где предусмотрены выступления ансамблей и танцевальные площадки, следует осуществлять постановочное освещение.

3.7.4 В производственных помещениях следует применять светильники со светодиодами, люминистцентными лампами Т5 или МГЛ. Размещение светильников должно быть увязано с размещением воздуховодов вентиляции. В горячих цехах не следует размещать светильники непосредственно над тепловым оборудованием (плиты, котлы и т.д.). Исполнение светильников должно выбираться в соответствии с требованиями к условиям среды, установленными в п. 7.1.16 настоящего пособия.

3.7.5 Светильники с люминесцентными лампами, устанавливаемые над рабочими местами в помещениях для приготовления и раздачи пищи (столы, плиты

и т.п.) должны иметь снизу защитное стекло, решетку или специальные патроны, конструкция которых исключает возможность выпадения ламп.

3.7.6 В складских помещениях (кладовых), где находятся продукты в сгораемой упаковке, следует, применять светильники с лампами накаливания, имеющими замкнутый рассеиватель из силикатного стекла. Запрещается применение светильников с отражателями и рассеивателями из горючих материалов.

3.7.7 При проектировании освещения административных и бытовых помещений следует руководствоваться рекомендациями, изложенными в разделах «Административные здания» и «Предприятия бытового обслуживания» данного пособия.

3.7.8 В помещениях предприятий общественного питания следует предусматривать эвакуационное освещение:

- в проходных помещениях и на лестницах, служащих для эвакуации людей из предприятий, где работает или находится одновременно более 50 человека;

- в обеденных залах, в которых одновременно могут быть более 100 человек;

- в производственных помещениях (горячие и холодные цеха и т.п.).

3.7.9 Необходимо предусмотреть устройство аварийного освещения в электрощитовых, диспетчерских, насосных с постоянным дежурным персоналом, главных кассах, дебаркадерах крупных предприятий.

3.7.10 Выходы из обеденных залов, вестибюлей и других, помещений, рассчитанных на одновременное пребывание более 100 человек, а также выходы из коридоров, к которым примыкают помещения, где могут одновременно находиться более 50 человек, должны иметь световые указатели с надписью «Выход», подключаемые к отдельной линии аварийно-эвакуационного освещения или имеющие аккумуляторную батарею.

3.7.11 Целесообразно предусматривать управление искусственным освещением в соответствии с таблицей 3.5.

Таблица 3.5 – Управление освещением для осветительных установок

Помещение	Способ управления общим освещением	Дополнительные требования
1	2	3
Вестибюль, лестничная клетка	В крупных предприятиях – централизованное с центрального диспетчерского пульта, в остальных централизованное из зоны с постоянным обслуживанием	-
Залы ресторана, кафе, бара*	Централизованное с пульта управления	-
То же, а также залы столовой, закусочной и т.п.*	При отсутствии пульта – централизованное из зоны с постоянным обслуживанием	При нерегулируемом освещении предусматривать 2–3 ступени включения
Производственное, административно-бытовое	Местное	Не допускается установка выключателей внутри помещений горячих цехов, кладовых, душевых, преддушевых, туалетов
Склад и кладовая	Местное для каждого помещения, но с централизованным отключением по окончании работы	Выключатели местного управления освещением должны быть расположены вне помещения на несгораемых конструкциях и заключены в коробки (шкафы) или ниши с приспособлением для опломбирования

* Аппараты управления освещением должны быть недоступны для посетителей

3.8 Освещение помещений предприятий бытового обслуживания

3.8.1 В помещениях для посетителей, в производственных помещениях для изготовления и ремонта одежды, меховых и трикотажных изделий, головных уборов, в производственных помещениях химической чистки, в парикмахерских залах следует применять светодиодные светильники либо светильники с люминесцентными лампами. В моечных, душевых, парильных в банях следует применять светодиодные светильники, люминесцентные (в том числе компактные) лампы в светильниках специального исполнения.

3.8.2 Светильники в мокрых и влажных помещениях должны быть герметичными и брызгозащищенными (п. 3.1.16).

3.8.3 Над гладильными установками и рабочими столами для сортировки и раскладки грязного и чистого белья следует предусматривать локализованное размещение светильников на высоте 2–2,5 м от рабочих поверхностей. Локализованное размещение светильников следует предусматривать также в пошивочных и ремонтных мастерских.

3.8.4 В помещениях граверных работ, ремонта часов, телевизоров, радиоаппаратуры, обуви, металлоизделии, в химчистке на столе приемщицы и др. следует применять систему комбинированного освещения.

3.8.5 В производственных цехах прачечных, в вестибюлях, коридорах, ожидальных, раздевальных, мыльных, душевых, парильных, помещениях бассейнов и на лестничных клетках необходимо предусматривать эвакуационное освещение.

3.8.6 Для охранного освещения следует использовать светильники эвакуационного освещения.

3.9 Освещение гостиничных помещений

3.9.1 При проектировании искусствнного освещения гостиниц необходимо участие архитектора и светотехника в выборе осветительных приборов.

3.9.2 Освещение основных помещений гостиниц следует, как правило, выполнять светодиодами и люминесцентные (в том числе компактные) лампами. Для обеспечения архитектурно-художественных требований могут применяться галогенные лампы накаливания.

3.9.3 Освещение в номерах гостиниц должно проектироваться с соблюдением принципа зональности. Для освещения каждой из зон (работы, отдыха, сна) должны предусматриваться различные, осветительные приборы, совместное действие которых должно обеспечивать нормируемую среднюю освещенность.

В качестве светильников общего освещения могут использоваться подвесные, потолочные или настенные: Наиболее традиционным решением является размещение в центре комнаты подвесного одно- или многолампового светильника рассеянного или преимущественно отраженного света. Реже используются светильники преимущественно прямого (из-за небольшой доли светового потока в верхнюю полусферу) и отраженного (из-за невысокой экономичности) света, а также потолочные светильники (из-за небольшой доли светового потока на потолок). Так же используются настенные светильника с одним-двумя источниками света, размещаемые на длинной стене гостиной. Для большей равномерности освещения целесообразно установка двух настенных

светильников.

В жилых комнатах гостиниц недопустима установка осветительных приборов, предназначенных для освещения административных помещений общественных зданий. Такое решение лишает номер уюта, придает помещению официальный канцелярский вид.

3.9.4 В номерах гостиниц следует предусматривать дополнительное местное освещение (бра, настольная лампа, торшер и т.д.). Использование для общего освещения номеров гостиниц и других помещений напольных светильников (торшеров) допускается как исключение.

3.9.5 В ванной комнате следует устанавливать дополнительный светильник над зеркалом на высоте не менее 2 м от пола. У умывальников должны устанавливаться штепсельные розетки для электробритв. В уборных помещениях светильники рекомендуется устаналивать над дверью. В ванных комнатах и помещениях уборных рекомендуется автоматическое управление включения и отключения освещения на основе датчиков присутствия (движения).

3.9.6 Для освещения коридоров могут быть использованы системы общего (как равномерного, так и локализованного) или комбинированного освещения.

Локализованное общее освещение может выполняться неравномерной установкой потолочных светильников с учетом расположения дверей, например, при размещении номеров с одной стороны коридора – смещением потолочных светильников с осевой линии к стене с дверями, а при размещении дверей с обеих сторон коридора – «шахматной» установкой светильников. Локализованное освещение коридоров может выполняться светильников, встраиваемыми в дверную коробку каждого номера, что значительно увеличивает вертикальную освещенность полотна двери и при соответствующей мощности светильников. При двустороннем расположении номеров вполне достаточно для создания нормируемой освещенности на полу коридора.

3.9.7 В ванных комнатах и уборных светильники должны иметь корпус из изолирующих влагостойких материалов.

3.9.8 В холле должны предусматриваться штепсельные розетки для

включения напольного или настольного светильников, телевизора.

3.9.9 Аварийное освещение утраивается в вестибюлях и гардеробах, эвакуационным освещением оборудуются коридоры и лестницы, служащие для эвакуации более 50 человек. Знаки безопасности (световые указатели) «Выход» устанавливаются над дверями, ведущими на лестницы, в вестибюль и на улицу. В коридорах длиной более 25 м световыми указателями отмечаются направления к выходу. Кроме указанных помещений, устройствами эвакуационного освещения оборудуются и другие помещения, расположенные в гостинице, перечисленные в пунктах 3.1.5 – 3.1.7.

4 Искусственное освещение помещений жилых зданий

4.1 Освещение жилых помещений следует, как правило, выполнять светодиодами, галогенными лампами накаливания и компактными люминесцентными лампами. Применение ламп накаливания возможно для обеспечения архитектурно-художественных требований, при этом важно принимать во внимаие крайне низкую световую отдачу, а, следовательно, повышенное потребление электроэнергии данными источниками света.

Для хрустальных люстр в целях обеспечения их блеска могут применяться источники света с прозрачной колбой: светодиодные лампы мощностью не более 5 Вт, галогенные лампы накаливания мощностью не более 50 Вт.

При применении светодиодных ламп следует учитывать, что регулирование их светового потока в отличие от галогенных ламп накаливания возможно только при особых встроенных схемах их питания (драйверах). Данные светодиодные лампы имеют маркировку «диммируемые».

4.2 В жилых помещениях наиболее широко используется система комбинированного освещения. Во всех помещениях квартир и индивидуальных жилых домов, за исключением балконов и лоджий, должна быть предусмотрена возможность установки светильников общего освещения, которые подвешиваются и закрепляются на потолке. В подсобных помещениях (передних, коридорах, холлах, кладовых) общее освещение может осуществляться настенными светильниками. Пример искусственного освещения секции жилого дома приведен на рисунке 4.1.

Установка светильников на лоджиях и балконов допускается на высоте не менее 2 м от пола до низа светильников при условии применения дополнительной защиты – устройства защитного отключения с дифференциальным током срабатывания 30 мА. Выключатели для них следует устанавливать внутри помещения.

4.3 В ванной комнате следует устанавливать дополнительный светильник над зеркалом на высоте не менее 2 м от пола. У умывальников должны устанавливаться штепсельные розетки для электробритв. В уборных помещениях светильники рекомендуется устаналивать над дверью. В ванных комнатах и помещениях

уборных рекомендуется автоматическое управление включения и отключения освещения на основе датчиков присутствия (движения).

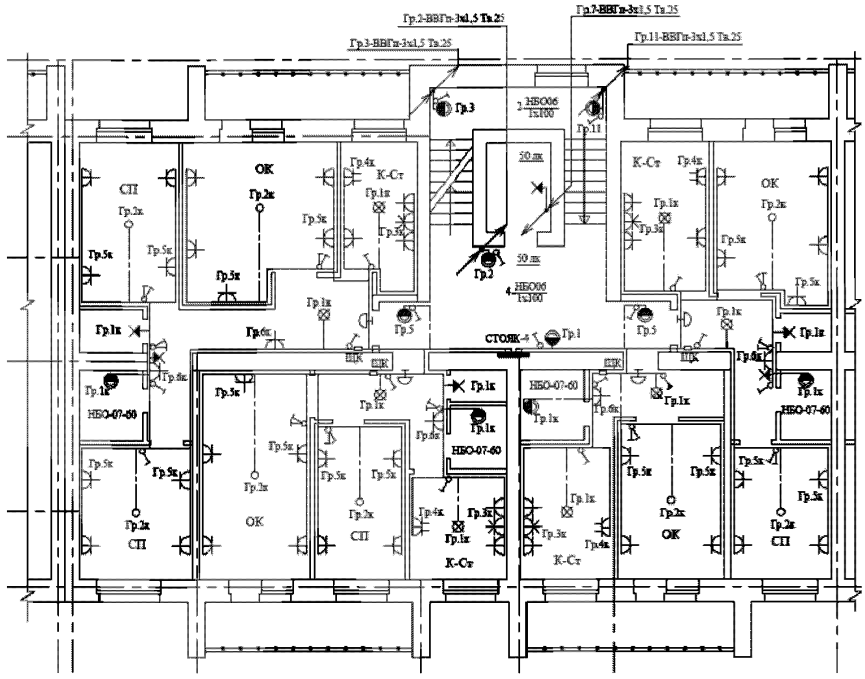


Рисунок 4.1 – Искусственное освещение секции жилого дома

4.4 Для обеспечения зрительного комфорта при использовании светильников местного и общего освещения рекомендуемые значения защитных углов и зон ограничения яркости соответствовать значениям, указанным в таблице 4.1. Защитный угол в нижней полусфере подвесных и потолочных светильников общего освещения жилых помещений должен быть не менее 30^0.

Таблица 4.1 – Защитный угол и зона ограничения яркости для светильников местного и комбинированного освещения

Расстояние от светового центра светильника до пола, м	Зона ограничения яркости, градусы	Защитный (условно защитный) угол, градусы, не менее	
		в нижней полусфере	в верхней полусфере
До 1,1	85 – 125	5	35
От 1,1 до 1,2	75 – 110	15	20
От 1,2 до 1,3	65 – 95	25	5
Выше 1,3	60 – 90	30	–

4.5 Светильники для жилых помещенпий должны иметь климатическое исполнение и категорию размещения УХЛ4, степень защиты не менее IP20, а для ванных комнат и уборных IP23.

4.6 Освещение вестибюлей, лестниц, лифтовых холлов, приквартирных коридоров жилых зданий высотой более трех этажей должно иметь автоматическое или дистанционное управление, обеспечивающее снижение светового потока светильников или ламп в ночное время с таким расчетом, чтобы освещенность вышеуказанных помещений была не ниже норм эвакуационного освещения, а при проходе людей по данным помещениям освещенность должна соответствовать нормам рабочего освещения.

Приложение А

Основные понятия, термины и определения

В настоящем методическом пособии применены следующие термины с соответствующими определениями:

Аварийное освещение: освещение, предусматриваемое в случае выхода из строя питания рабочего освещения.

Акцентирующее освещение: выделение светом отдельных деталей на менее освещенном фоне.

Антипаническое освещение: вид эвакуационного освещения для предотвращения паники и безопасного подхода к путям эвакуации.

Дежурное освещение: освещение, используемое в нерабочее время.

Дополнительное искусственное освещение: искусственное освещение в системе совмещенного освещения, которое используется в течение рабочего дня в зонах с недостаточным естественным освещением.

Заливающее освещение: общее (равномерное или неравномерное) освещение всего фасада здания или сооружения или его существенной части световыми приборами.

Знак безопасности: знак, дающий информацию о мерах безопасности (запрещения, предписания или разрешения определенных действий) с помощью комбинации цвета, формы и графических символов или текста.

Знак безопасности с внешней подсветкой: знак безопасности, освещаемый извне.

Знак безопасности с внутренней подсветкой: знак безопасности, освещаемый изнутри.

Примечание – знак безопасности с внутренней подсветкой является световым указателем.

Индекс цветопередачи R_a: мера соответствия зрительных восприятий цветного объекта, освещенного исследуемым и стандартным источниками света при одинаковых условиях наблюдения.

Комбинированное искусственное освещение: искусственное освещение, при котором к общему искусственному освещению добавляется местное.

Контраст объекта различения с фоном *K*, относительные единицы: определяется отношением абсолютной величины разности между яркостью объекта и фона к яркости фона. Контраст объекта различения с фоном считается:

- большим – при *K* более 0,5 (объект и фон резко отличаются по яркости);

- средним – при *K* от 0,2 до 0,5 (объект и фон заметно отличаются по яркости);

- малым – при *K* менее 0,2 (объект и фон мало отличаются по яркости).

Коэффициент пульсации освещенности $K_{\text{п}}$, %: критерий оценки относительной глубины колебаний освещенности в осветительной установке в результате изменения во времени светового потока источников света при их питании переменным током, выражающийся формулой

$$K_{\text{П}} = \frac{E_{\text{макс}} - E_{\text{мин}}}{2E_{\text{ср}}} 100, \qquad \text{(А.1)}$$

где $E_{\text{макс}}$ и $E_{\text{мин}}$ – максимальное и минимальное значения освещенности соответственно за период ее колебания, лк; $E_{\text{ср}}$ – среднее значение освещенности за этот же период, лк.

Примечание – коэффициент пульсации освещенности учитывает пульсацию светового потока до 300 Гц. Пульсация освещенности свыше 300 Гц не оказывает влияния на общую и зрительную работоспособность.

Соблюдение норм коэффициента пульсации освещенности позволяет предотвратить отрицательное влияние фликера, стробоскопического эффекта и снизить зрительное и общее утомление человека.

Коэффициент эксплуатации (для искусственного освещения) *MF*, относительные единицы: коэффициент, равный отношению освещенности или яркости в заданной точке, создаваемой осветительной установкой в конце установленного срока эксплуатации, к освещенности или яркости в той же точке в начале эксплуатации.

Коэффициент учитывает снижение освещенности или яркости в процессе эксплуатации осветительной установки вследствие спада светового потока, выхода

из строя источников света и невосстанавливаемого изменения отражающих и пропускающих свойств оптических элементов осветительных приборов, а также загрязнения поверхностей помещения, наружных стен здания или сооружения, проезжей части дороги или тротуара:

$$MF = MF_{\text{сп}} \cdot MF_{\text{ви}} \cdot MF_{\text{оп}} \cdot MF_{\text{п}}, \qquad \text{(А.2)}$$

где $MF_{\text{сп}}$ – коэффициент, учитывающий спад светового потока источников света; $MF_{\text{ви}}$ – коэффициент, учитывающий выход из строя источников света; $MF_{\text{оп}}$ – коэффициент, учитывающий загрязнение и невосстанавливаемое изменение отражающих и пропускающих свойств оптических элементов осветительных приборов; $MF_{\text{п}}$ – коэффициент, учитывающий загрязнение отражающих поверхностей помещения или сооружения.

Примечание – коэффициент эксплуатации обратно пропорционален коэффициенту запаса $K_{\text{з}}$: ($MF = 1/K_{\text{з}}$).

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

Общее равномерное искусственное освещение помещений: освещение, при котором светильники размещаются в верхней зоне помещения и создают равномерное распределение освещенности на рабочих местах.

Общее локализованное искусственное освещение помещений: освещение, при котором светильники размещаются в верхней зоне помещения непосредственно над оборудованием.

Объединенный показатель дискомфорта UGR, относительные единицы: критерий оценки дискомфортной блескости, вызывающей неприятные ощущения при неравномерном распределении яркостей в поле зрения, определяемый по формуле

$$\text{UGR} = 8 \lg \left[\frac{0{,}25}{L_a} \sum_{i=1}^{N} \frac{L_i^2 \omega_i}{p_i^2} \right], \qquad \text{(А.3)}$$

где L_i – яркость блеского источника, кд/м^2; ω_i – угловой размер блеского источника, стерадиан; p_i – индекс позиции блеского источника относительно линии зрения; $L_{\text{а}}$ –

яркость адаптации, кд/м^2.

Объект различения: рассматриваемый предмет, отдельная его часть или дефект, которые требуется различать в процессе работы.

Освещение зон повышенной опасности: вид эвакуационного освещения для безопасного завершения потенциально опасного рабочего процесса.

Освещение путей эвакуации: вид эвакуационного освещения для надежного определения и безопасного использования путей эвакуации.

Освещенность *E*, лк: отношение светового потока dФ, падающего на элемент поверхности, содержащий рассматриваемую точку, к площади dA этого элемента:

$$E = \mathrm{d}\Phi/\mathrm{d}A.$$

Отраженная блескость: характеристика отражения светового потока от рабочей поверхности в направлении глаз работающего, определяющая снижение видимости вследствие чрезмерного увеличения яркости рабочей поверхности и вуалирующего действия, снижающих контраст между объектом и фоном.

Полуцилиндрическая освещенность $E_{пц}$, лк: отношение светового потока, падающего на внешнюю поверхность бесконечно малого полуцилиндра с центром в заданной точке, к площади цилиндрической поверхности этого полуцилиндра

Примечание – если не оговорено противное, то ось полуцилиндра должна располагаться вертикально.

Помещение с постоянным пребыванием людей: помещение, в котором люди находятся большую часть (более 50 %) своего рабочего времени в течение суток или более 2 ч непрерывно.

Пути эвакуации: маршрут для выхода людей из опасной зоны в аварийной ситуации. Начинается от места пребывания людей и заканчивается в безопасной зоне.

Рабочая поверхность: поверхность, на которой проводится работа, нормируется и измеряется освещенность.

Рабочее освещение: освещение, обеспечивающее нормируемые световые условия (освещенность, качество освещения) в помещениях и местах производства

работ вне зданий.

Равномерность распределения освещенности (яркости) U_0: отношение минимального значения освещенности (яркости) к среднему значению освещенности (яркости):

$$U_0 = E_{мин}/E_{ср} \ (U_0 = L_{мин}/L_{ср}).$$

Резервное освещение: вид аварийного освещения для продолжения работы в случае отключения рабочего освещения.

Световой указатель: знак безопасности с внутренней подсветкой.

Светодиод: источник света, основанный на испускании некогерентного излучения в видимом диапазоне длин волн при пропускании электрического тока через полупроводниковый диод.

Система указания путей эвакуации: система, обеспечивающая достаточное число знаков безопасности, позволяющих людям эвакуироваться из места расположения в случае возникновения опасности вдоль установленных путей эвакуации.

Стробоскопический эффект: зрительное восприятие кажущегося изменения, прекращения вращательного движения или периодического колебания объекта, освещаемого светом, изменяющимся с близкой, совпадающей или кратной частотой.

Удельная мощность ω, Вт/м^2: установленная мощность искусственного освещения в помещении, отнесенная к полезной площади.

Условная рабочая поверхность: условная горизонтальная поверхность, расположенная на высоте 0,8 м от пола.

Фликер: субъективное восприятие колебаний светового потока искусственных источников света по величине и во времени.

Фон: поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различения, на которой он рассматривается.

Фон считается: светлым – при коэффициенте отражения поверхности более 0,4; средним – от 0,2 до 0,4; темным – менее 0,2.

Цветовая температура $T_ц$, К: температура излучателя Планка (черного

тела), при которой его излучение имеет ту же цветность, что и излучение рассматриваемого объекта.

Цветопередача: общее понятие, характеризующее влияние спектрального состава источника света на зрительное восприятие цветных объектов, сознательно или бессознательно сравниваемое с восприятием тех же объектов, освещенных стандартным источником света.

Цилиндрическая освещенность $E_{ц}$, лк: отношение светового потока, падающего на боковую поверхность бесконечно малого цилиндра с центром в заданной точке, к площади боковой поверхности этого цилиндра.

Примечания.

1 Если не оговорено иное, то ось цилиндра должна быть расположена вертикально.

2 Применительно к внутреннему освещению цилиндрическую освещенность используют в качестве критерия оценки насыщенности помещения светом.

Эвакуационное освещение: вид аварийного освещения для эвакуации людей или завершения потенциально опасного процесса.

Эвакуационный выход: выход, предназначенный для эвакуации людей в аварийной ситуации на путь эвакуации, ведущий непосредственно наружу или в безопасную зону.

Эквивалентный размер объекта различения: размер равнояркого круга на равноярком фоне, имеющего такой же пороговый контраст, что и объект различения при данной яркости фона.

Яркость L, кд/м^2: отношение светового потока $d^2\Phi$, переносимого элементарным пучком лучей, проходящим через заданную точку и распространяющимся в телесном угле $d\Omega$, содержащем заданное направление, к произведению площади проходящего через заданную точку сечения этого пучка dA, косинуса угла θ между нормалью к этому сечению и направлением пучка лучей и телесного угла $d\Omega$: $L = d^2\Phi/(dA \cdot \cos\theta \cdot d\Omega)$.

Приложение Б

Пример расчета объединенного показателя дискомфорта

Пример расчета значения объединенного показателя дискомфорта *UGR* и расчета стандартной таблицы *UGR* (Φ_0) приведен для прямоугольного помещения с относительными размерами 2*H* x 4*H* и стандартным расположением светильников, где *H* – высота расположения светильников над расчетной плоскостью при коэффициентах отражения потолка – 0,7; стен – 0,5; пола – 0,2.

Б.1 Исходные фотометрические и геометрические данные на светильник

Исходные фотометрические данные значений силы света для меридиональных (С) и азимутальных углов (γ) светильника приведены в таблице Б.1. Полярное распределение кривой силы света показано на рисунке Б.1.

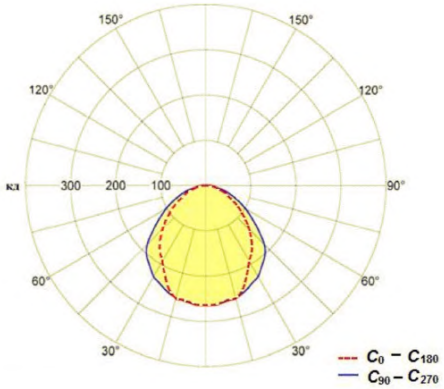


Рисунок Б.1 – Кривая силы света светильника с симметричным светораспределением

Площади светящих частей светильника взяты из паспортных данных на светильник:

- площадь основания $A_B = 0{,}316$ м^2;
- площадь боковой части $A_S = 0{,}0$ м^2;
- площадь торца $A_E = 0$ м^2.

Таблица Б.1 – Значения силы света светильника, кд, приведенного к световому потоку 1000 лм

Меридиональный угол γ, град	Азимутальный угол *C*, град																							
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345
0	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264
5	264	265	264	265	264	263	264	263	264	265	264	265	264	265	264	265	264	263	264	263	264	265	264	265
10	258	257	258	260	262	261	260	261	262	260	258	257	258	257	258	260	262	261	260	261	262	260	258	257
15	258	257	255	255	256	258	257	258	256	255	255	257	258	257	255	255	256	258	257	258	256	255	255	257
20	242	244	246	249	249	251	250	251	249	249	246	244	242	244	246	249	249	251	250	251	249	249	246	244
25	216	218	223	232	238	240	240	240	238	232	223	218	216	218	223	232	238	240	240	240	238	232	223	218
30	193	194	197	208	222	231	232	231	222	208	197	194	193	194	197	208	222	231	232	231	222	208	197	194
35	178	179	181	182	194	214	217	214	194	182	181	179	178	179	181	182	194	214	217	214	194	182	181	179
40	158	160	162	167	171	189	204	189	171	167	162	160	158	160	162	167	171	189	204	189	171	167	162	160
45	136	135	140	145	153	163	184	163	153	145	140	135	136	135	140	145	153	163	184	163	153	145	140	135
50	114	115	118	123	130	143	152	143	130	123	118	115	114	115	118	123	130	143	152	143	130	123	118	115
55	92	94	99	105	111	119	125	119	111	105	99	94	92	94	99	105	111	119	125	119	111	105	99	94
60	72	73	77	86	92	99	101	99	92	86	77	73	72	73	77	86	92	99	101	99	92	86	77	73
65	54	55	59	65	75	79	79	79	75	65	59	55	54	55	59	65	75	79	79	79	75	65	59	55
70	44	44	43	47	55	61	60	61	55	47	43	44	44	44	43	47	55	61	60	61	55	47	43	44
75	27	29	34	33	36	44	43	44	36	33	34	29	27	29	34	33	36	44	43	44	36	33	34	29
80	22	21	20	18	21	25	25	25	21	18	20	21	22	21	20	18	21	25	25	25	21	18	20	21
85	14	14	13	12	8	8	9	9	9	12	13	14	14	14	13	12	8	8	9	8	8	12	13	14
90	5	5	4	3	1	0	0	0	1	3	4	5	5	5	4	3	1	0	0	0	1	3	4	5

Таблица Б.2– Пример расчета зональных световых потоков

																									E	*F*	*G=E·F*	*H*
																									Среднее значение силы света, кд	Зональный коэффициент	Зональный поток ($E \cdot F$)	Зональный световой поток, приведенный к 1000 лм ($F \cdot Fs$), кд/1000 лм
		Азимутальный угол *C*, град																										
		0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345				
Меридиональный угол γ, град	0	264																										
	5	264	265	264	265	264	263	264	263	264	265	264	265	264	265	264	265	264	263	264	263	264	265	264	265	264,17	0,095	25,10	25,00
	10	258																										
	15	258	257	255	255	256	258	257	258	256	255	255	257	258	257	255	255	256	258	257	258	256	255	255	257	256,35	0,283	72,55	72,26
	20	242																										
	25	216	218	223	232	238	240	240	240	238	232	223	218	216	218	223	232	238	240	240	240	238	232	223	218	230,43	0,463	106,69	106,26
	30	193																										
	35	178	179	181	182	194	214	217	214	194	182	181	179	178	179	181	182	194	214	217	214	194	182	181	179	191,83	0,628	120,47	119,98
	40	158																										
	45	136	135	140	145	153	163	184	163	153	145	140	135	136	135	140	145	153	163	184	163	153	145	140	135	149,91	0,774	116,03	115,57
	50	114																										
	55	92	94	99	105	111	119	125	119	111	105	99	94	92	94	99	105	111	119	125	119	111	105	99	94	106,70	0,897	95,71	95,32
	60	72																										
	65	54	55	59	65	75	79	79	79	75	65	59	55	54	55	59	65	75	79	79	79	75	65	59	55	67,13	0,993	66,66	66,39
	70	44																										
	75	27	29	34	33	36	44	43	44	36	33	34	29	27	29	34	33	36	44	43	44	36	33	34	29	35,52	1,058	37,58	37,43
	80	22																										
	85	14	14	13	12	8	8	9	8	8	12	13	14	14	14	13	12	8	8	9	8	8	12	13	14	10,96	1,091	11,95	11,91
	90	5																										
																									Полный поток от 0^0 до 90^0, отн. ед. (*L*)		652,74	650,12
	95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	1,091	0,00	0,00
	100	0																										
	105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	1,058	0,00	0,00
	110	0																										
	115	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,993	0,00	0,00
	120	0																										
	125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,897	0,00	0,00
	130	0																										
	135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,774	0,00	0,00
	140	0																										
	145	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,628	0,00	0,00
	150	0																										
	155	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,463	0,00	0,00
	160	0																										
	165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,283	0,00	0,00
	170	0																										
	175	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,095	0,00	0,00
	180	0																										
																									Полный поток, отн. ед. (*M*)		652,74	

Примечание – Коэффициент полезного действия светильника $R_{LO} = \dfrac{\text{Общий поток в относительных единицах(Ф)}}{\text{Общий поток всех ламп светильника, отн. ед.}} = \dfrac{652,74}{1000} = 0,65.$

$$\text{Коэффициент масштаба } F_S = \frac{R_{LO} \cdot 1000}{\text{Общий поток, отн. ед.}} = \frac{0,65 \cdot 1000}{652,74} = 0,996.$$

$$\text{Коэффициент полезного действия в нижнюю полусферу } R_{DLO} = \frac{\text{Поток от } 0^0 \text{ до } 90^0\text{, отн.ед}(\ \Phi_{2\pi}) \cdot F_S}{1000} = \frac{652,74 \cdot 0,996}{1000} = 0,65.$$

Б.2 Расчет отраженной составляющей освещенности для стен помещения E_{WID}

Б.2.1 Расчет значений освещенности от многократных отражений для стен E_{WID}

Расчет E_{WID} начинают с определения коэффициентов полезного действия светильника (общий, в нижнюю полусферу, в верхнюю полусферу) R_{LO}, R_{DLO}, R_{ULO} и выполняют с использованием таблицы Б.2.

По вспомогательной таблице Б.2 или по формуле (6.2) для стандартного модуля $2H$ х $4H$ находим индекс помещения i = 1,33.

По таблице Б.2 и приведенным в ней значениям силы света рассчитывают суммарные зональные световые потоки Φ_{zL1}, Φ_{zL2}, Φ_{zL3}, Φ_{zL4} с учетом значений коэффициентов полезного действия в нижнюю полусферу R_{DLO}, R_{ULO}.

Φ_{zL1} = Зональный световой поток (от 0° до 40°) + 0,130 х Зональный световой поток (от 40° до 50°);

Φ_{zL2} = Зональный световой поток (от 0° до 60°)

Φ_{zL3} = Зональный световой поток (от 0° до 70°) + 0,547 х Зональный световой поток (от 70° до 80°);

Φ_{zL4} = Зональный световой поток (от 0° до 90°).

Расчетные значения зональных световых потоков сводятся в таблицу Б.3.

Таблица Б.3 – Расчетные значения зональных световых потоков

Зона, град	0 – 10	10 – 20	20 – 30	30 – 40	40 – 50	50 – 60	60 – 70	70 – 80	80 – 90
Зональный световой поток, лм	25,00	72,26	106,26	119,98	115,57	95,32	66,39	37,43	11,91

Φ_{zL1} = 338,52 лм;

Φ_{zL2} = 534,39 лм;

Φ_{zL3} = 621,25 лм;

Φ_{zL4} = 650,12 лм.

Б.2.2 Рассчитывают общий зональный световой поток Φ_{zL}, используя значения геометрических факторов по таблице Б.3:

$\Phi_{zL} = \Phi_{zL1} \cdot F_{GL1} + \Phi_{zL2} \cdot F_{GL2} + \Phi_{zL3} \cdot F_{GL3} + \Phi_{zL4} \cdot F_{GL4} = 338{,}52F_{GL1} + 534{,}39F_{GL1} +$

$+ 621{,}25F_{GL1} + 650{,}12F_{GL1} = (338{,}52 \cdot 0{,}528) + (534{,}39 \cdot 0{,}218) + (621{,}25 \cdot 0{,}170) + [650{,}12 \cdot (-0{,}017)] = 389{,}80$ лм.

Б.2.3 Последовательно находят коэффициенты распределения зонального светового потока:

$$F_{DF} = \Phi_{zL} / \Phi_0 = 389{,}80/1000 = 0{,}39;$$

$$F_{DW} = R_{DLO} - F_{DF} = 0{,}65 - 0{,}39 = 0{,}26;$$

$$F_{DC} = R_{ULO} = 0.$$

Б.2.4 С помощью таблицы Б.4 определяют коэффициенты передачи $F_{T,FW}$, $(F_{T,WW}{}^{-1})$, $F_{T,CW}$, вычисляют коэффициент использования отраженных потоков F_{UWID} для стен с данным индексом помещения по формуле

$$F_{UWID} = F_{DF} \cdot F_{T,FW} + F_{DW}(F_{T,WW} - 1) + F_{DC} \cdot F_{T,CW} = \\ = (0{,}39 \cdot 0{,}187) + (0{,}26 \cdot 0{,}351) + (0{,}0 \cdot 0{,}531) = 0{,}1642. \quad (Б.1)$$

Для того чтобы получить значение E_{WID}, умножают значение F_{UWID} на значение B, определенное по таблице Б.2 приложения Б:

$$E_{WID} = 0{,}1642 \cdot 166{,}67 = 27{,}37 \text{ лк}.$$

При расчете стандартной таблицы *UGR* этот расчет выполняют для каждого из 19 стандартных индексов помещений и комбинаций коэффициентов отражения потолка, стен и пола.

Б.3 Расчет коэффициентов K_i

В рассматриваемом помещении с относительными размерами 2Н х 4Н стандартные условия освещения соответствуют равномерному размещению в нем восьми светильников.

По таблице Б.2 приложения Б для стандартных условий освещения модуля размерами 2Н х 4Н определяют значения K_i. Полученные значения сводят в таблицу Б.4.

Таблица Б.4 – Расчетные значения коэффициентов K_i

y_R/H	x_T/H	K_i	Примечание
0,5	0,5	–	Светильники, расположенные
1,5	0,5	0,0041	

Продолжение таблицы Б.4

yR/H	xT/H	Ki	Примечание
2,5	0,5	0,0054	налево от работающего
3,5	0,5	0,0047	
0,5	0,5	–	Светильники, расположенные направо от работающего
1,5	0,5	0,0041	
2,5	0,5	0,0054	
3,5	0,5	0,0047	

Б.4 Расчет значений силы света светильников $I_{C\gamma}$

По таблице Б.1 находят значения азимутального угла C и меридионального угла γ и по таблице Б.1 линейной интерполяцией определяют значения силы света $I_{C\gamma}$. Результаты заносят в таблицу Б.5. Значения для случаев $y_R/H = 0,5$ и $x_T/H = 0,5$ не учитывают, поскольку не видны наблюдателю.

Таблица Б.5 – Расчет значений силы света от светильников при направлении линии зрения поперек продольной оси светильников

y_R/H	x_T/H	C, град	γ, град	$I_{C\gamma}$, кд
1,5	0,5	18,4	57,7	83,03
2,5	0,5	11,3	68,6	47,12
3,5	0,5	8,1	74,2	29,70
1,5	0,5	341,6	57,7	83,03
2,5	0,5	348,7	68,6	47,12
3,5	0,5	351,9	74,2	29,70

Для силы света от светильников, расположенных справа от стандартного наблюдателя, азимутальные углы C равны:

$$360^\circ - 18,4^\circ = 341,6^\circ;$$

$$360^\circ - 11,3^\circ = 348,7^\circ;$$

$$360^\circ - 8,1^\circ = 351,9^\circ.$$

Таким образом, определяют значения силы света $I_{C\gamma}$ для направления линии зрения поперек продольной оси светильников.

На практике бывает, что направление линии зрения стандартного наблюдателя располагается вдоль продольной оси светильников. Для направления линии зрения вдоль продольной оси светильников также необходимо определить значения $I_{C\gamma}$. В этом случае данную таблицу повторяют, но с азимутальными углами

C, увеличенными на 90° (таблица Б.6).

Таблица Б.6. Расчет значений силы света от светильников при направлении линии зрения вдоль продольной оси светильников

y_R/H	x_T/H	*C*, град	γ, град	$I_{C\gamma}$, кд
1,5	0,5	108,4	57,7	106,55
2,5	0,5	101,3	68,6	65,57
3,5	0,5	98,1	74,2	46,22
1,5	0,5	71,6	57,7	106,55
2,5	0,5	78,7	68,6	65,57
3,5	0,5	81,9	74,2	46,22

Для светильников, расположенных направо от наблюдателя, азимутальные углы *C* в этом случае равны:

$$90^o - 18{,}4^o = 71{,}6^o;$$

$$90^o - 11{,}3^o = 78{,}7^o;$$

$$90^o - 8{,}1^o = 81{,}9^o.$$

Б.5 Расчет площади проекции светящих элементов светильника на плоскость, перпендикулярную линии зрения

Площадь проекции светящих площадей светильника на плоскость, перпендикулярную линии зрения вычисляют по формулам:

$A = A_B \cdot H/D + A_S \cdot x_T/D + A_E \cdot y_R/D$ (при направлении линии зрения, направленной вдоль продольной оси светильников);

$A = A_B \cdot H/D + A_S \cdot y_R\ x_T/D + A_E \cdot x_T\ /D$ (при направлении линии зрения, направленной поперек продольной оси светильников).

Для этого используют информацию о площади светящих поверхностей светильника, приведенную в пункте Б.1, и значения *H*/*D*:

- площадь основания $A_B = 0{,}316$ м^2;

- площадь боковой части $A_S = 0{,}0$ м^2;

- площадь торца $A_E = 0{,}0$ м^2.

Полученные данные сводят в таблицу Б.7.

Таблица Б.7 – Значения площади проекции светящих элементов светильника на плоскости, перпендикулярной линии зрения

y_K/H, отн. ед.	x_T/H, отн. ед.	H/D, отн. ед.	A, м^2
1,5	0,5	0,535	0,169
2,5	0,5	0,365	0,115
3,5	0,5	0,272	0,088
1,5	0,5	0,535	0,169
2,5	0,5	0,365	0,115
3,5	0,5	0,272	0,088

Б.6 Расчет объединенных показателей дискомфорта

Вычисления *UGR* проводят, используя формулу

$$UGR = 8\lg \sum_{i=1}^{N} \left[\frac{K_i I_{Cyi}^2}{A_i} \right] - 8\lg E_{WID} \qquad \text{(Б.2)}$$

При направлении линии зрения поперек продольной оси светильников

$$UGR = 8\lg\left\{\left(\frac{0{,}0041 \cdot 83{,}03^2}{0{,}169}\right)+\left(\frac{0{,}0054 \cdot 47{,}12^2}{0{,}115}\right)+\left(\frac{0{,}0047 \cdot 29{,}70^2}{0{,}088}\right)+\left(\frac{0{,}0041 \cdot 83{,}03^2}{0{,}169}\right)+\left(\frac{0{,}0054 \cdot 47{,}12^2}{0{,}115}\right)+\left(\frac{0{,}0047 \cdot 29{,}70^2}{0{,}088}\right)\right\} - 8\lg(27{,}37);$$

UGR = 8 lg (167,25 + 104,26 + 48,21 + 167,25 + 104,26 + 48,21) – 8 lg (27,37) =

= 22,45 – 11,50 = 10,95 ≈11,0.

При направлении линии зрения вдоль продольной оси светильников:

$$UGR = 8\lg\left\{\left(\frac{0{,}0041 \cdot 106{,}55^2}{0{,}169}\right)+\left(\frac{0{,}0054 \cdot 65{,}57^2}{0{,}115}\right)+\left(\frac{0{,}0047 \cdot 46{,}26^2}{0{,}088}\right)+\left(\frac{0{,}0041 \cdot 106{,}55^2}{0{,}169}\right)+\left(\frac{0{,}0054 \cdot 65{,}57^2}{0{,}115}\right)+\left(\frac{0{,}0047 \cdot 46{,}22^2}{0{,}088}\right)\right\} - 8\lg(27{,}37);$$

UGR = 8 lg (275,43 + 201,89 + 116,75 + 275,43 + 201,89 +116,75) –

– 8 lg (27,37) = 24,60 – 11,50 = 13,1.

Приложение В

Программные средства для расчета искусственного освещения помещений жилых и общественных зданий

А.1 Программа расчета искусственного освещения DIALux – gost.e-ecolog.ru

А.2 Программа расчета искусственного освещения Relux Pro – gost.e-ecolog.ru

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»

[2] Федеральный закон от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»

[3] Постановление Правительства Российской Федерации от 20 июля 2011 г. № 602 «Об утверждении требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения»

[4] Правила установления требований энергетической эффективности товаров, работ, услуг при осуществлении закупок для обеспечения государственных и муниципальных нужд (в ред. Постановлений Правительства РФ от 03.12.2014 N 1304, от 28.08.2015 N 898)

[5] ГОСТ 14254-96. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками. (Код IP)

[6] ГОСТ 21.607-2014 Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации наружного электрического освещения

[7] ГОСТ 21.608-2014 Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации внутреннего электрического освещения

[8] ГОСТ 14254-96 (МЭК 529-89) Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (код IP)

[9] ГОСТ 24940-2016 «Здания и сооружения. Методы измерения освещенности»

[10] ГОСТ 26824-2010 Здания и сооружения. Методы измерения яркости

[11] ГОСТ 27900-88 (МЭК 598-2-22) Светильники для аварийного освещения. Технические требования

[12] ГОСТ 33392-2015 Здания и сооружения. Метод определения показателя дискомфорта при искусственном освещении помещений

[13] ГОСТ 33393-2015 Здания и сооружения. Методы измерения коэффициента пульсации освещенности

[14] ГОСТ IEC 60598-2-22-2012 Светильники. Часть 2-22. Частные требования. Светильники для аварийного освещения

[15] ГОСТ Р 12.4.026-2001 Система стандартов безопасности труда. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики. Методы испытаний

[16] ГОСТ Р 54350-2015 Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний

[17] ГОСТ Р 54815-2011/IEC/PAS 62612:2009 Лампы светодиодные со встроенным устройством управления для общего освещения на напряжения свыше 50 В. Эксплуатационные требования

[18] ГОСТ Р МЭК 60598-1-2011 Светильники. Часть 1. Общие требования и методы испытаний

[19] СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СП 52.13330.2011

[20] СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий

[21] СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585-2010 Изменения и дополнения №1 к санитарным правилам и нормам СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий

[22] СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах

[23] ПУЭ Правила устройства электроустановок (7-е изд.)

[24] Шмаров И.А. Применение свойств сферической симметрии светового поля в светотехнических расчетах. – Вестник отделения строительных наук РААСН. Выпуск 2, 1999

[25] Долин Е. В., Текшева Л.М., Шмаров И.А. Гигиеническое обоснование светодиодного освещения. – Светотехника, №1, 2011

[26] Кнорринг Г.М., Фадин И.М., Сидоров В.Н. Справочная книга для проектирования электрического освещения. – С-Пб.: Энергоатомиздат, 1992

[27] Справочная книга по светотехнике. Под ред. Ю.Б. Айзенберга – 3-е изд., – М.: Энергоиздат, 2006

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Методическое пособие содержит методы расчета нормируемых показателей и принципы проектирования типовых помещений для выполнения светотехнической части проекта.

2 Современные требования к светотехнической части проекта заключаются не только в обеспечении требуемой освещенности и качественных показателей освещения по ограничению слепящего действия, пульсации светового потока и обеспечению равномерности распределения освещенности. Существенным является выполнение требований энергоэффективности искусственного освещения по удельной установленной мощности (Вт/м^2).

3 Пособие ориентирует проектировщиков на применение энергоэффективных источников света и систем искусственного освещения.

4 Реализация заложенных принципов проектирования позволит экономить электроэнергию, расходуемую на искусственное освещение, и повысит комфортность световой среды помещений.

gost.e-ecolog.ru