

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Лазерная техника и технология»

РАСЧЕТ ОСВЕЩЕННОСТИ ОТ ИСТОЧНИКОВ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

Лабораторный практикум
для студентов специальности 1-38 01 02 «Оптико-электронные
и лазерные приборы и системы» специализации
1-38 01 02 04 «Светотехника и источники света»

Минск
БНТУ
2020

УДК 628.921.97(076.5)

ББК 38.113я7

К59

Составители:

А. С. Козерук, А. В. Грищенко

Рецензенты:

А. Е. Челябин, Ю. Г. Павлюкевич

К59

Расчет освещенности от источников различного типа : лабораторный практикум для студентов специальности 1-38 01 02 «Оптико-электронные и лазерные приборы и системы» специализации 1-38 01 02 04 «Светотехника и источники света» / сост.: А. С. Козерук, А. В. Грищенко. – Минск: БНТУ, 2020. – 55 с.

ISBN 978-985-583-117-5.

В лабораторном практикуме представлен материал по расчету освещенности от симметрично и несимметрично расположенных точечных светильников, расчет прямой составляющей освещенности от точечных излучателей с несимметричным секторным распределением и расчет прожекторного освещения, расчет освещенности от сплошной светящей линии и от светящей линии с разрывами, а также расчет освещенности от светящихся поверхностей равномерной яркости и с учетом многократных отражений.

УДК 628.921.97(076.5)

ББК 38.113я7

ISBN 978-985-583-117-5

© Белорусский национальный
технический университет, 2020

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Расчет осветительной установки необходим для определения числа и мощности источников света, обеспечивающих нормированную освещенность, а также для определения на рабочих поверхностях освещенности с учетом заданного размещения светильников и мощности источников света, которые в них используются.

Рабочей поверхностью при этих расчетах следует считать ту, на которой производится работа, например, поверхность верстака, стола, части оборудования или изделия. Под условной рабочей поверхностью понимается горизонтальная поверхность, расположенная на высоте 0,8 м от пола.

Освещенность на рабочей поверхности создается световым потоком, поступающим непосредственно от светильников (*прямая составляющая освещенности* – $E_{\text{пр}}$), и отраженным – падающим на расчетную поверхность в результате многократных отражений от стен, потолка, пола, оборудования (*отраженная составляющая освещенности* – E_o):

$$E = E_{\text{пр}} + E_o.$$

Прямую составляющую освещенности рассчитывают с учетом кривой силы света светильника и расположения светильников относительно выбранной точки на рабочей поверхности; поэтому значение освещенности на отдельных участках рабочей поверхности может быть различным.

Отраженная составляющая освещенности определяется световым потоком, падающим на отражающие поверхности непосредственно от светильников (т. е. определяется светораспределением светильников), отражающими свойствами ограждающих поверхностей помещения (в основном, их коэффициентом отражения), а также соотношением размеров освещаемого помещения.

Многократные отражения светового потока, возникающие между поверхностями потолка, пола, стен, окружающих предметов и оборудования, обуславливают сравнительно равномерное распределение отраженной составляющей освещенности по рабочей поверхности.

Метод расчета прямой составляющей освещенности выбирают исходя из того, к какой группе относится используемый светящий

элемент. В зависимости от соотношения размера светящих элементов и расстояний от них до освещаемой поверхности, все светящие элементы можно разделить на три группы: точечные, линейные и светящие поверхности.

Точечность светящего элемента обычно 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 пространства. Поэтому в практике расчета точечный осветительный прибор принимается за светящую точку с условно выбранным световым центром, характеризуемым силой света по всем направлениям.

К точечным светящим элементам относятся: прожекторы, осветительные приборы с лампами накаливания и газоразрядными лампами типов ДРЛ, МГЛ, НЛВД, НЛНД и т. д.

Положение осветительного прибора, имеющего ось симметрии (точечный элемент), относительно расчетной точки в общем случае определяется следующими координатами (рис. 1): h_p – высотой расположения осветительного прибора относительно расчетной плоскости; α – углом, определяющим направление силы света в расчетную точку.

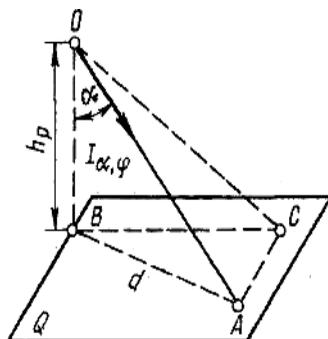


Рис. 1. Координаты, определяющие положение точек

Осветительный прибор, находящийся на расстоянии от расчетной поверхности, соизмеримом с его размером, нельзя рассматривать как точечный (протяженный элемент). Светораспределение

такого светильника определяется не кривой силы света, а кривыми равной освещенности в расчетной плоскости. Поэтому расположение светильника местного освещения относительно расчетной точки будет определяться координатами: h_p и d , где d – расстояние от проекции оси светильника на освещаемую поверхность до расчетной точки (см. рис. 1).

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

В практике расчета к светящим линиям относятся излучатели, длина которых превышает половину расчетной высоты h_p . Это прежде всего люминесцентные светильники, расположенные непрерывными линиями или линиями с разрывами, а также протяженные светящиеся панели, длина которых соизмерима с расстоянием до освещаемой поверхности. Основной характеристикой линейных источников излучения является удельная сила света, под которой понимают силу света, излучаемую единицей длины источника (1 м) в плоскости, перпендикулярной его оси. Положение светящей линии относительно точки расчета определяется параметром h_p – высотой расположения светящей линии относительно расчетной точки и двумя углами: γ – в поперечной плоскости, перпендикулярной оси лампы и проходящей через точку расчета, и углом φ , под которым видна светящая линия из точки расчета (рис. 2).

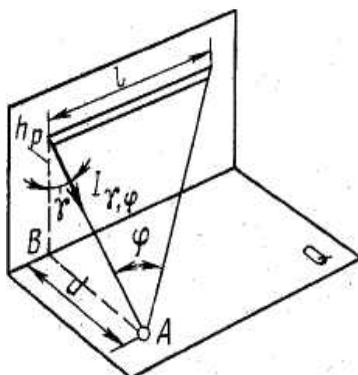


Рис. 2. Координаты, определяющие положение линейного светящего элемента относительно расчетной точки

К светящим поверхностям, для которых нельзя применить закон квадратов расстояний из-за значительной погрешности, возникающей в расчете, относятся установки отраженного света в виде световых потолков или ниш; а также панели, перекрытые рассеивателями или решетчатыми затенителями. Размеры этих светящихся элементов соизмеримы с расстоянием до расчетной точки. Светящиеся элементы этой группы характеризуются следующими показателями: формой и размером светящей поверхности, распределением яркости по различным направлениям пространства и по светящей поверхности. Световые потолки в установках отраженного света, а также световые потолки и панели, перекрытые рассеивателем, обладают практически одинаковой яркостью по всем направлениям пространства. Исключение составляют лишь светящиеся поверхности, перекрытые решетчатыми затенителями, 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.

Наибольшее применение при проектировании получили светящиеся элементы первой и второй групп.

Светящиеся поверхности, требующие значительной установленной мощности, используют в установках архитектурного освещения, когда, кроме утилитарных требований, предъявляются еще и архитектурно-художественные.

Необходимо иметь в виду, что в зависимости от условий применения светящийся элемент может быть отнесен к различным группам. Так, линейный светящийся элемент может рассматриваться как точечный, если его длина в два раза меньше расстояния до точки, в которой определяется создаваемая им освещенность, при этом погрешность в расчете не превышает 5 %. Аналогичное допущение может быть принято для равномерно светящегося диска, если расстояние, на котором определяется освещенность, превышает в 2,5 раза диаметр диска.

$$E = I_{\alpha} \cos \beta / l^2, \quad (1.1)$$

где I_{α} – сила света светильника по направлению к точке A .

Преобразуем приведенное уравнение к виду, более удобному для практических расчетов. Из рис. 1.1 имеем: $\cos \beta = OB/l$. В свою очередь

$$OB = h_p \cos \Theta + d \sin \Theta,$$

откуда

$$\cos \beta = \frac{h_p \cos \Theta + d \sin \Theta}{l}.$$

Подставляя $\cos \beta$ в уравнение (1.1), будем иметь

$$E_A = \frac{I_{\alpha}}{l^3} (h_p \cos \Theta + d \sin \Theta). \quad (1.2)$$

Так как $l = h_p / \cos \alpha$, то окончательное расчетное уравнение для определения освещенности на наклонной поверхности примет вид

$$E_{\bar{n}} = \frac{I_{\alpha} \cos^3 \alpha}{h_p^2} \left(\cos \Theta + \frac{d}{h_p} \sin \Theta \right), \quad (1.3)$$

где Θ – угол наклона расчетной плоскости по отношению к плоскости, перпендикулярной оси симметрии светильника (горизонтальная плоскость);

α – угол между лучом в расчетную точку и осью симметрии светильника;

h_p – высота светильника над горизонтальной плоскостью, проходящей через расчетную точку;

d – кратчайшее расстояние от проекции оси симметрии светильника на горизонтальную плоскость, проходящую через точку расчета, до самой этой точки.

В производственных и общественных зданиях принято размещать светильники так, что их ось симметрии располагается вертикально, т. е. перпендикулярно расчетной горизонтальной плоскости (рис. 1.2). Согласно этому рисунку угол $\Theta = 0$ и уравнение (1.3) примет вид

$$E_r = (I_\alpha \cos^3 \alpha) / h_p^2, \quad (1.4)$$

где E_r – освещенность горизонтальной плоскости в точке A .

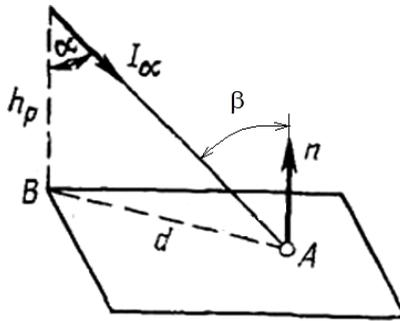


Рис. 1.2. К расчету освещенности на горизонтальной плоскости

В случае, когда ось симметрии светильника параллельна расчетной плоскости (рис. 1.3), угол $\Theta = \pi/2$ и уравнение, определяющее освещенность, преобразуется к виду

$$E_b = \frac{I_\alpha \cos^3 \alpha}{h_p^2} \frac{d}{h_p} = E_r \frac{d}{h_p}. \quad (1.5)$$

Освещенность наклонной плоскости можно получить через освещенность горизонтальной плоскости из уравнения

$$E_n = E_r \left(\cos \Theta + \frac{d}{h_p} \sin \Theta \right).$$

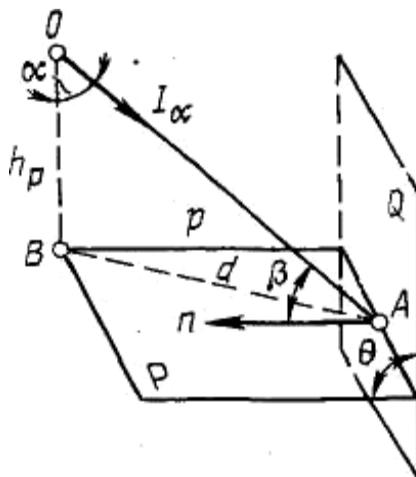


Рис. 1.3. К расчету освещенности на вертикальной плоскости

1.2. Практическая часть

1.2.1. Расчет освещенности от симметрично расположенных светильников

При расчете освещенности от симметричных светильников необходимо соблюдать следующую последовательность.

1. По отношению d/h_p определить $\operatorname{tg} \alpha$, а затем угол α и $\cos^3 \alpha$.
2. По кривой силы света выбранного светильника и углу α найти силу света I_α .
3. По уравнениям (1.3), (1.4), (1.5) рассчитать освещенность в горизонтальной, вертикальной и наклонной плоскостях.

Пример 1.1. Помещение площадью 10×10 м и высотой 5 м освещается четырьмя светильниками типа УПД ДРЛ с лампами ДРЛ мощностью 400 Вт ($F_{\text{л}} - 19\,000$ лм). Светильники располагают по углам квадрата со стороной 5 м. Высота подвеса светильников $h_p = 4,5$ м. Определить освещенность горизонтальной, вертикальной и наклонной (под углом $\theta = 60^\circ$) плоскостей, расположенных на пересечении диагоналей поля светильников (рис. 1.4). Расчет освещенности ведем, придерживаясь намеченной последовательности.

Определяем $\operatorname{tg} \alpha$ (см. рис. 1.1).

$$\operatorname{tg} \alpha = d / h_p = \sqrt{2,5^2 + 2,5^2} / 4,5 = 3,54 / 4,5 \approx 0,786.$$

2. Определяем угол α и $\cos^3 \alpha$:

$$\alpha = 38^\circ; \quad \cos^3 \alpha = 0,49.$$

3. По табл. (прил. 1) находим силу света под углом 38° для светильника УПД ДРЛ с условной лампой $(I_\alpha)_{1000} = 214$ кд (интерполируем между значениями силы света для угла $\alpha = 35$ и 45°):

Фактическая сила света

$$I_\alpha = (I_\alpha)_{1000} \frac{F_{\text{л}}}{1000} = 214 \frac{19000}{1000} = 4066 \text{ кд.}$$

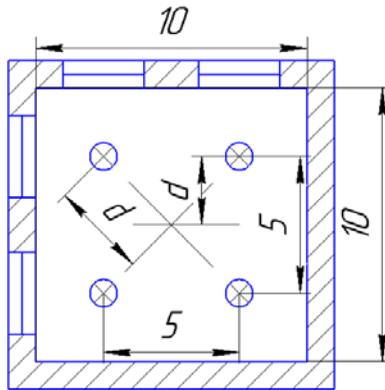


Рис. 1.4. К примеру расчета освещенности от симметричных светильников общего освещения

4. Подсчитаем освещенность горизонтальной плоскости.

Принимая коэффициент запаса $k = 1,5$, от одного светильника, имеем

$$E_r = \frac{I_\alpha \cos^3 \alpha}{h_p^2 k} = \frac{4066 \cdot 0,49}{4,5^2 \cdot 1,5} \approx 65,6 \text{ лк.}$$

Так как каждый из четырех светильников создает в точке расчета одинаковую освещенность, то, следовательно, суммарная освещенность $\Sigma E_r = 4E_r = 4 \cdot 65,6 = 263$ лк.

5. Подсчитаем освещенность вертикальной плоскости.

Так как расчетная точка, лежащая в вертикальной плоскости, освещается только двумя светильниками, то освещенность вертикальной плоскости

$$E_v = 2E_r \frac{d}{h_p} = 2 \cdot 65,6 \frac{2,5}{4,5} \approx 73 \text{ лк.}$$

6. Подсчитаем освещенность в наклонной плоскости:

$$E_{\text{н}} = 2E_r (\cos \Theta + \frac{d}{h_p} \sin \Theta) = 2 \times 65,6 (0,5 + 2,5 / 4,5 \times 0,866) = 128,6 \text{ лк.}$$

1.2.2. Расчет освещенности от несимметрично расположенных светильников

Рассчитывать освещенность по приведенным уравнениям при большом количестве светильников (особенно расположенных несимметрично) сложно, так как необходимо определять освещенность от каждого светильника в отдельности и потом суммировать полученные значения.

Для расчета осветительных установок с несимметричными светильниками часто используют пространственные изолюксы горизонтальной освещенности. Построение таких кривых осуществляется для каждого применяемого типа светильника, при этом световой поток лампы (при многоламповых светильниках – суммарный поток ламп) принимается равным 1000 лм. Создаваемая в этом случае освещенность называется условной и обозначается ε . Значение ε зависит от светораспределения светильника и геометрических размеров d и h_p (см. рис. 1). Для определения ε служат пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности, на которых находится точка с заданными d и h_p (d , как правило, определяется обмером по масштабному плану), и ε находится путем интерполирования между значениями, указанными у ближайших изолюкс.

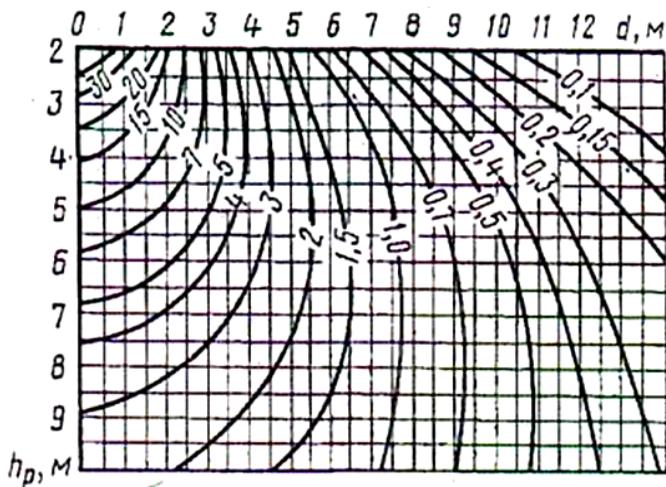


Рис. 1.5. Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности. Светильники У, УПМ-15, УП-24, Астра 1, 11, 12

При отсутствии изолюкс для данного светильника используется график для излучателя, имеющего по всем направлениям силу света, равную 100 кд (рис. 1.6). Значение условной освещенности определяется так же, как указано ранее. По кривой силы света светильника в направлении α и значению ε_{100} несложно вычислить ε :

$$\varepsilon = \varepsilon_{100} \frac{I_{\alpha}}{100}. \quad (1.6)$$

Если суммарное действие «ближайших» светильников создает в расчетной точке условную освещенность $\Sigma\varepsilon$, действие более удаленных светильников и отраженную составляющую учитывают коэффициентом μ . Тогда для получения в расчетной точке нормированной освещенности E_n при коэффициенте запаса k лампы в каждом светильнике должны иметь световой поток Φ :

$$\Phi = 1000 E_n k / (\mu \Sigma \varepsilon). \quad (1.7)$$

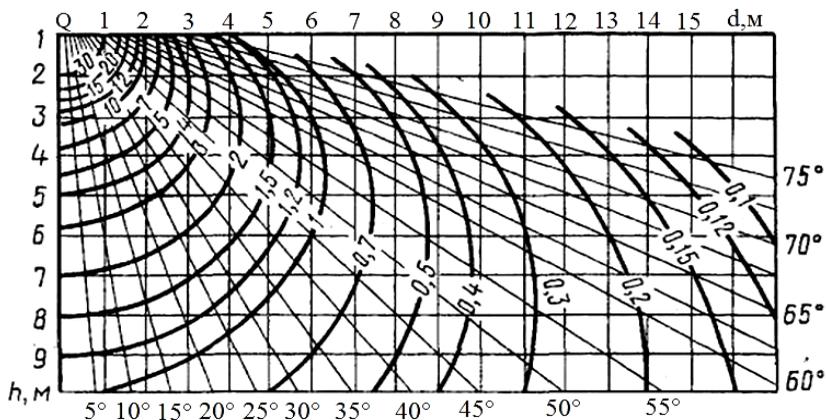


Рис. 1.6. Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности.
Сила света светильника по всем направлениям 100 кд

По этому световому потоку выбирают ближайшую стандартную лампу, световой поток которой $\Phi_{\text{л}}$ должен находиться в пределах $0,9 \Phi < \Phi_{\text{л}} \leq 1,2 \Phi$. Если эти пределы при выборе лампы не могут быть выполнены, то корректируется расположение светильников. По формуле (1.7) можно определить освещенность при известном световом потоке.

Характерные точки расчета для общего равномерного освещения показаны на примере рис. 1.7.

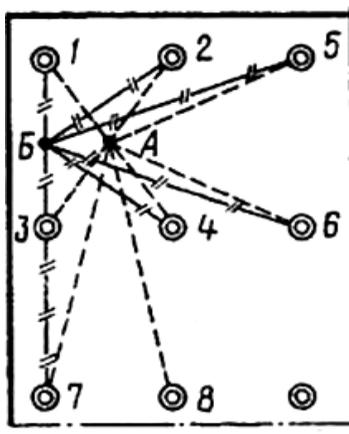


Рис. 1.7. Расчетные точки освещенности

При более часто встречающемся расположении светильников, например, рядами вдоль светотехнических мостиков, расчетную точку выбирают между рядами на расстоянии от торцевой стены, примерно равном расчетной высоте.

В принципе, не следует выискивать точки абсолютного минимума освещенности у стен или в углах: если в подобных точках есть рабочие места, то доведение в них освещенности до требуемого значения может быть осуществлено увеличением мощности ближайших светильников или установкой дополнительных светильников. Часто при расчетах возникают затруднения в определении числа светильников, которые необходимо учитывать при нахождении $\Sigma \varepsilon$. Обычно принимаются светильники с трех наименьших расстояний d . На рис. 1.7 расчетные точки соединены линиями с теми светильниками, от которых обычно определяются значения ε . В общем случае, чем меньше L/h_p (L – расстояние между светильниками) и чем шире светораспределение светильника, тем большую роль играют удаленные светильники и тем тщательнее следует их учитывать.

Во всех случаях при определении $\Sigma \varepsilon$ не должны учитываться светильники, реально не создающие освещенности в контрольной точке из-за затенений оборудованием или корпусом рабочего.

Пример 1.2. В помещении, показанном на рис. 1.7, необходимо обеспечить нормированную освещенность 100 лк при коэффициенте запаса $k = 1,5$, используя светильники типа УПМ-15, установленные на высоте 3 м. Расстояние между светильниками в ряду – 4 м, расстояние между рядами светильников – 6 м. Определить тип лампы накаливания.

Расстояние d от светильника до точки расчета определяется образом по масштабному плану. Значение ε определяется по графику рис. 1.5. Расчеты сведены в табл. 1.1. Наихудшей оказывается точка B , по освещенности которой определяем необходимый поток, принимая $\mu = 1,1$:

$$\Phi = \frac{1000 E_n k}{\mu \Sigma \varepsilon} = \frac{1000 \cdot 100 \cdot 1,5}{1,1 \cdot 19,11} = 7136 \text{ лм.}$$

Согласно приложению 2 выбираем лампу 500 Вт на напряжение 220 В со световым потоком 8300 лм.

Таблица 1.1

Результаты расчета освещенности
от несимметричных светильников

Точка	Номера светильников	Расстояние, м	Условная освещенность, лк	
			от одного светильника	от всех светильников
А	1, 2, 3, 4	3,6	4,5	18
	5, 6	6,7	0,9	1,8
	7, 8	9,2	0,3	0,6
				$\sum \varepsilon = 20,4$
Б	1, 3	3	7	14
	2, 4	5	2	4
	5, 6	8,5	0,4	0,8
	7	9	0,31	0,31
				$\sum \varepsilon = 19,11$

1.2.3. Задание по работе

Используя методику, изложенную в пунктах 1.2.1, 1.2.2, и данные табл. 1.2 (с учетом коэффициента масштабирования), выполнить расчет освещенности от симметричных (см. рис. 1.4) (в горизонтальной, вертикальной и наклонной плоскостях) и несимметричных (см. рис. 1.7) светильников.

Таблица 1.2

Данные для расчета освещенности от симметричных
и несимметричных светильников

Вариант	1	2	3	4
Размер помещения, м	12 × 10	14 × 12	16 × 14	18 × 16
Расположение светильников по углам прямоугольника размером (рис. 1.4)	8 × 6	10 × 8	12 × 10	14 × 12
Высота подвеса светильников, м	4,5	5	5,5	6
Угол наклона поверхности, θ°	60	62	65	67
Расстояние между светильниками в ряду, м (рис. 1.7)	5	6	7	8
Расстояние между рядами, м (рис. 1.7)	4	5	6	7

Примечание: линейные размеры табл. 1.2 умножать на коэффициент масштабирования K , рассчитанный следующим образом:

$$K = 0,05(N - 2000),$$

где N – текущий год.

Требования для получения допуска к выполнению работы

Знать методику расчета освещенности от симметричных и несимметричных светильников (по примерам 1.1 и 1.2).

Требования к оформлению отчета

Изложить результаты расчета. Привести рабочие варианты рис. 1.4 и 1.7 в масштабе.

Контрольные вопросы

1. Получить выражение для расчета освещенности на наклонной, горизонтальной и вертикальной поверхностях.
2. Методика определения светового потока при нормированной освещенности от несимметрично расположенных светильников.
3. Условная рабочая поверхность.
4. Точечные излучатели.

Лабораторная работа № 2

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСВЕЩЕННОСТЕЙ ОТ ИЗЛУЧАТЕЛЯ С НЕСИММЕТРИЧНЫМ СВЕТОРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ И ОТ ПРОЖЕКТОРА

2.1. Теоретическая часть

2.1.1. Расчет прямой составляющей освещенности от точечных излучателей с несимметричным светораспределением

В отличие от расчета освещенности, создаваемой светильником с симметричным светораспределением, расположение точки расчета A при освещении несимметричным светильником (имеющим не ось, а плоскость симметрии), характеризуется тремя координатами: высотой h_p , а также углами α и φ , отсчитываемыми от плоскости симметрии светильника OBC (рис. 2.1). Согласно рис. 2.1 значения α и φ можно определить из формул

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \arctg d / h_p \\ \varphi &= \arctg b / a \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

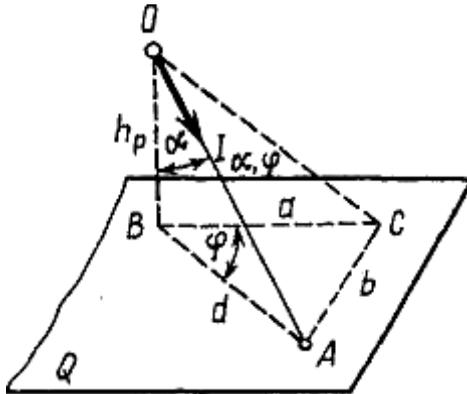


Рис. 2.1. К расчету освещенности от точечного светящего элемента с несимметричным светораспределением

Зная углы α и φ , можно по кривым силы света определить силу света $I_{\alpha, \varphi}$ по направлению к расчетной точке, а следовательно, и рассчитать освещенность в этой точке поверхности согласно уравнению

$$E_r = I_{\alpha, \varphi} \cos^3 \alpha / (h_p k), \quad (2.2)$$

где $I_{\alpha, \varphi}$ – сила света по направлению к расчетной точке;

α – угол между направлением силы света в расчетную точку и перпендикуляром из светящей точки к плоскости расчета.

Расчет освещенности от большого числа светильников с несимметричным распределением силы света удобно производить по кривым равных значений относительной освещенности $\varepsilon = I_{\alpha, \varphi} \cos^3 \alpha$, построенным в полярной системе координат φ и $\text{tg} \alpha$ или $\text{ctg} \alpha$ (рис. 2.2).

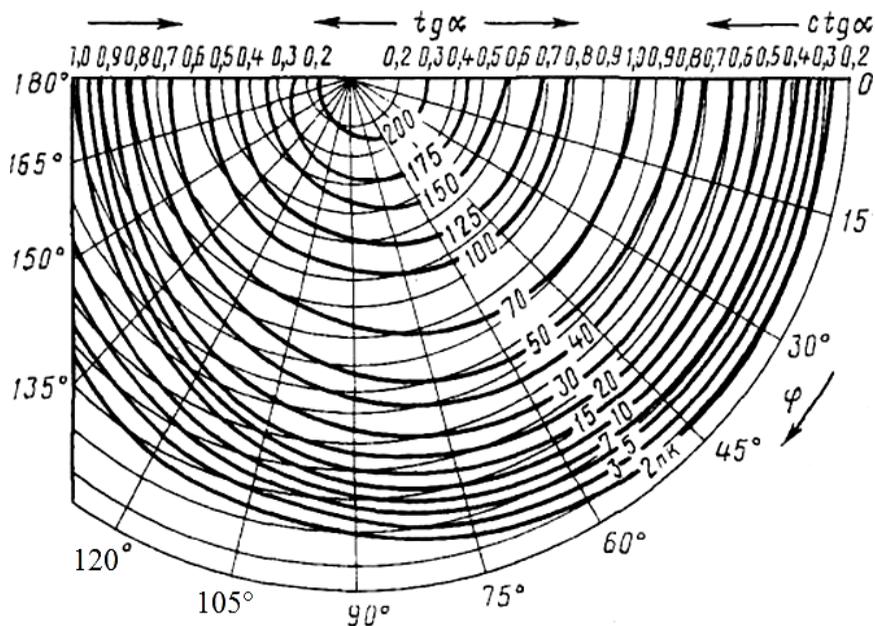


Рис. 2.2. Пространственные кривые равной относительной освещенности светильника «Кососвет»

2.1.2. Расчет прожекторного освещения

Расчет прожекторного освещения имеет некоторую специфику: как правило, прожекторы устанавливаются наклонно, под некоторым углом к горизонту, определяемым расположением освещаемой зоны, высотой установки прожекторов и уровнем нормируемой освещенности. Прожекторы дальнего действия имеют малые углы рассеивания ($3-5^\circ$), и поэтому малейшие неточности в определении углов максимального значения силы света могут привести к значительным ошибкам.

Прожектор заливающего света, установленный на высоте h_p от плоскости расположения расчетной точки A (рис. 2.3), имеет осевую силу света I_0 и силу света $I_{\beta_B \beta_\Gamma}$ в направлении точки A .

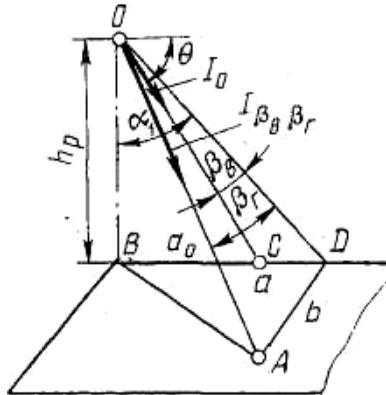


Рис. 2.3. К расчету освещенности от прожектора

Направление $I_{\beta_B \beta_\Gamma}$ на точку A определяют углами β_B и β_Γ в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (в вертикальной и горизонтальной, соответственно). Согласно рис. 2.3 значения этих углов можно найти из следующих уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \beta_\Gamma &= \operatorname{arctg} \frac{b \cos \alpha_1}{h_p} = \operatorname{arctg} \frac{b \sin \alpha_1}{a} \\ \beta_B &= \left(\operatorname{arctg} \frac{a}{h_p} - \operatorname{arctg} \frac{a_0}{h_p} \right) \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

С учетом значений β_r и β_b по кривым силы света определяют силу света $I_{\beta_r\beta_b}$ по направлению к расчетной точке A , и по уравнению (2.4) – освещенность

$$E_r = I_{\beta_r\beta_b} \cos^3 \alpha / h_p^2, \quad (2.4)$$

где α – угол между направлением силы света в расчетную точку и нормалью к освещаемой поверхности.

При расчете освещенности от большого числа прожекторов обычно пользуются вспомогательными графиками и таблицами.

В практике проектирования широко распространен метод кривых равных значений относительной освещенности. Эти кривые построены на плоскости, перпендикулярной оптической оси прожектора и удаленной от его светового центра на 1 м. Кривые строят в прямоугольной системе координат ξ и η (рис. 2.4), соответствующих углам β_r и β_b .

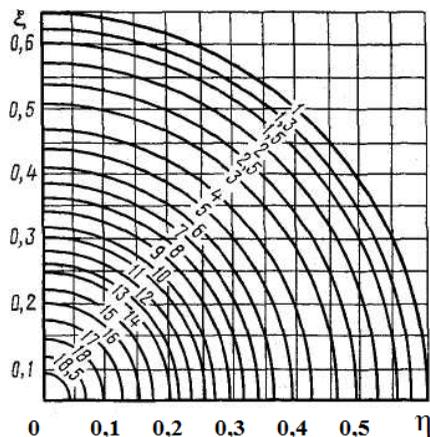


Рис. 2.4. Изолюксы на условной плоскости (килолюксы).
Прожектор ПЗР-400 с лампой ДРЛ-400

Для прожекторов, имеющих две плоскости симметрии – горизонтальную и вертикальную, кривые силы света строятся в одной четверти прямоугольных координат вследствие их полной тождественности в остальных четвертях.

Для определения освещенности от прожектора в точке A горизонтальной плоскости строят вспомогательную плоскость Q , проходящую через расчетную точку A и перпендикулярную оптической оси прожектора (оси Om на рис. 2.5).

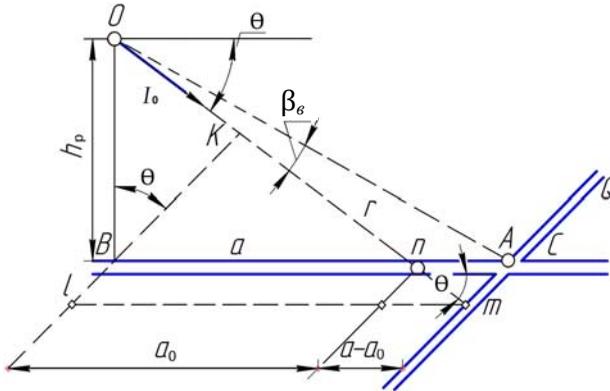


Рис. 2.5. К расчету освещенности от прожектора методом кривых равных значений относительной освещенности

Освещенность E_Q в точке A плоскости Q определяется согласно уравнению (1.4) по формуле

$$E_Q = \varepsilon / r^2, \quad (2.5)$$

где ε – относительная освещенность, найденная по кривым равных значений относительной освещенности для заданных координат ξ и η ;

r – расстояние от прожектора до плоскости, перпендикулярной оптической оси прожектора.

Освещенность горизонтальной плоскости согласно общему правилу для точечного источника определяют по формуле

$$E_Q / E_\Gamma = r / h_p, \quad E_\Gamma = (E_Q h_p) / r.$$

Подставляя E_Q из уравнения (2.5), получим

$$E_\Gamma = \varepsilon h_p / r^3. \quad (2.6)$$

Соответственно, освещенность в вертикальной плоскости, проходящей через точку A , будет иметь значение:

$$E_B = E_r a / h_p = \varepsilon a / r^3, \quad (2.7)$$

где a – расстояние от проекции светового центра прожектора на расчетную плоскость (точка B на рис. 2.5) до пересечения следа вертикальной плоскости с плоскостью Q (точка A на рис. 2.5).

Согласно уравнениям (2.6) и (2.7) для определения E_r и E_B необходимо иметь значение относительной освещенности ε , которая определяется из графика рис. 2.4 по координатам ξ и η .

Согласно рис. 2.5 из треугольников OBK и lmk :

$$r = Om = h_p \sin \Theta + a \cos \Theta.$$

Из треугольника COM

$$\xi = \operatorname{tg} \beta_B = \frac{Cm}{Om} = \frac{(a - a_o) \sin \Theta}{r}. \quad (2.8)$$

Так как в общем случае расчетная точка может быть смещена в горизонтальной плоскости на некоторое расстояние b от плоскости симметрии прожектора OB , то ее положение будет определяться и второй координатой η :

$$\eta = \operatorname{tg} \beta_r = b / r. \quad (2.9)$$

Путем сокращения числа независимых переменных, полученные соотношения можно привести к виду, более удобному для практических расчетов. Для этой цели обе части уравнений (2.8) и (2.9) разделим на h_p и отношение r / h_p обозначим через ρ . Тогда, учитывая, что, согласно рис. 2.5, $a_o = h_p / \operatorname{tg} \Theta$, можно записать

$$\begin{aligned} \xi &= \frac{a / h_p \sin \Theta - \cos \Theta}{\rho}, \\ \rho &= \frac{r}{h_p} \sin \Theta + \frac{a}{h_p} \cos \Theta, \\ \eta &= b / (\rho h_p). \end{aligned} \quad (2.10)$$

Соответственно, выражения для освещенности в вертикальной и горизонтальной плоскостях запишем как

$$\begin{aligned} E_{\Gamma} &= \varepsilon / (\rho^3 h_p^2), \\ E_{\text{в}} &= \varepsilon a / (\rho^3 h_p^3). \end{aligned} \quad (2.11)$$

Приведенные соотношения позволяют определить освещенность в любой точке расчетной плоскости, если заданы высота расположения прожектора h_p и угол наклона его оптической оси Θ .

2.2. Практическая часть

2.2.1. Расчет освещенности от точечного излучателя с несимметричным светораспределением

Расчет освещенности при использовании кривых на рис. 2.2 производят в следующем порядке.

1. По положению светильника относительно точки расчета освещенности определяют

$$\varphi = \arctg(b/a) \text{ и } \operatorname{tg} \alpha = d/h_p \text{ или } \operatorname{ctg} \alpha = h_p/d.$$

2. Согласно кривым равной относительной освещенности и значениям φ и $\operatorname{tg} \alpha$ находят $\varepsilon = I_{\alpha, \varphi} \cos^3 \alpha$ (см. рис. 2.2).

3. По значению ε рассчитывают освещенность

$$E_{\Gamma} = \frac{\varepsilon}{h_p^2 k} \cdot \frac{\Phi_{\text{л}}}{1000}.$$

Пример 2.1. Определить освещенность в точке A на горизонтальной плоскости от светильника «Кососвет», расположенного на высоте $h_p = 3$ м над расчетной плоскостью. Лампа в светильнике 150 Вт, 220 В ($\Phi_{\text{л}} = 2000$ лм). Коэффициент запаса $k_1 = 1,3$; $a = b = 3$ м (см. рис. 2.1).

1. Определяем углы φ и $\text{tg}\alpha$ или $\text{ctg}\alpha$:

$$\varphi = \arctg(b/a) = \arctg 1; \varphi = 45^\circ; \text{ctg}\alpha = h_p / d = 3 / \sqrt{18} \approx 0,7.$$

2. Находим относительную освещенность по графику (см. рис. 2.2):

$$\varepsilon = 32 \text{ лк для } \text{ctg}\alpha = 0,7 \text{ } \theta\varphi = 45^\circ.$$

3. Определяем освещенность в расчетной точке

$$E_r = \frac{\varepsilon \Phi_{\text{л}}}{h_p^2 1000k} = \frac{32 \cdot 2000}{3^2 \cdot 1000 \cdot 1,3} = 5,5 \text{ лк.}$$

Выполнить аналогичный расчет согласно пункту 2.2.3.

2.2.2. Расчет прожекторного освещения

Пример 2.2. Прожектор ПЗР-400 с лампой ДРЛ-400 установлен на высоте $h = 10$ м над освещаемой территорией. Определить освещенность горизонтальной плоскости в точке A (рис. 2.5), если угол наклона оптической оси прожектора $\Theta = 30^\circ$, коэффициент запаса $k_2 = 1,5$. Расчет ведут методом кривых равных значений относительной освещенности.

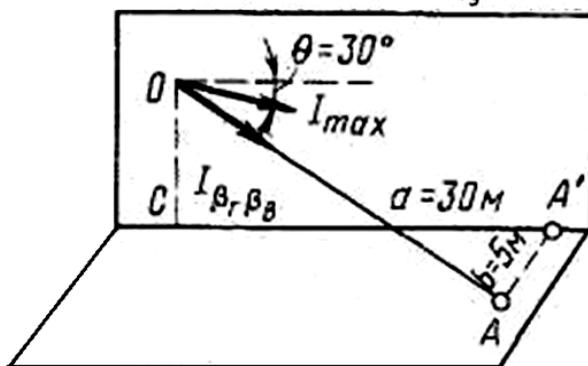


Рис. 2.5. К примеру расчета освещенности от прожектора заливающего света

Определяем ξ , ρ и η :

$$\rho = \sin \Theta + \frac{\alpha}{h_p} \cos \Theta = 0,5 + \frac{30}{10} \cdot 0,866 \approx 3,$$

$$\xi = \frac{\frac{\alpha}{h_p} \sin \Theta - \cos \Theta}{\rho} = \frac{\frac{30}{10} \cdot 0,5 - 0,866}{3} \approx 0,2,$$

$$\eta = b / (\rho h_p) = 5 / (3 \cdot 10) = 0,16.$$

По кривым равной относительной освещенности (см. рис. 2.4) находим $\varepsilon = 12 \cdot 10^3$. Тогда освещенность в горизонтальной плоскости будет:

$$E_r = \frac{\varepsilon}{\rho^3 h_p^2 k} = \frac{12 \cdot 10^3}{3^3 \cdot 10^2 \cdot 1,5} = 26,7 \text{ лк.}$$

2.2.3. Задание по работе

Используя методику, изложенную в пунктах 2.2.1, 2.2.2, и данные табл. 2.1 (с учетом коэффициента масштабирования, приведенного в лабораторной работе № 1), выполнить расчет освещенности от точечного излучателя с несимметричным светораспределением (см. рис. 2.1) и прожекторного освещения (см. рис. 2.5).

Таблица 2.1

Данные для расчета освещенности от точечного излучателя с несимметричным светораспределением и прожекторного освещения

Вариант	1	2	3	4
h_p , м	3,3	3,5	3,7	3,9
$\Phi_{л}$, лм	2100	2150	2200	2250
k_1	1,14	1,18	1,22	1,26
a , м	3,2	3,4	3,6	3,8

Вариант	1	2	3	4
b , м	3,4	3,6	3,8	4,0
H , м	10,5	11,0	11,5	12
Θ , °	32	34	36	38
k_2	1,53	1,56	1,59	1,62

Требования для получения допуска к выполнению работы

Знать методику расчета освещенности от точечного излучателя с несимметричным светораспределением и прожекторного освещения (по примерам 2.1 и 2.2).

Требования к оформлению отчета

Изложить результаты расчета. Привести рабочие варианты рис. 2.1 и 2.5.

Контрольные вопросы

1. Методика расчета освещенности от точечного излучателя с несимметричным светораспределением.
2. Получить выражение для расчета прожекторного освещения.
3. Линейные излучатели.

Лабораторная работа № 3

3. РАСЧЕТ ОСВЕЩЕННОСТИ ОТ СВЕТЯЩЕЙСЯ ЛИНИИ

3.1. Теоретическая часть

3.1.1. Расчет освещенности от сплошной светящейся линии

Расчет освещенности начинают с наиболее часто встречающихся в практике случаев, когда светящаяся линия параллельна освещаемой поверхности (рис. 3.1). Для простоты расчета положение расчетной точки выбираем так, чтобы ее проекция на плоскость расположения светящейся линии совпала с проекцией конца светящейся линии на расчетную плоскость. Выделим на светящейся линии бесконечно малый i -й элемент dL_i , положение которого относительно точки расчета определяется высотой расположения над расчетной плоскостью h_p и углами γ и α_i .

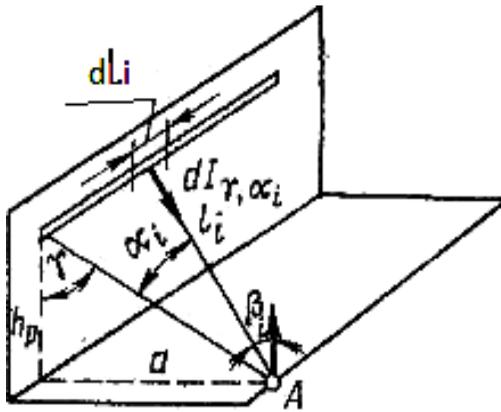


Рис. 3.1. К расчету освещенности от линейного светящего элемента

Освещенность в точке A от элемента светящейся линии dL_i равна

$$dE_A = dI_{\gamma\alpha_i} \cos\beta / l_i^2, \quad (3.1)$$

где $dI_{\gamma\alpha_i}$ – сила света i -го элемента светящей линии по направлению к точке A ;

β_i – угол между направлением силы света в расчетную точку и нормалью к освещаемой поверхности;

l_i – расстояние от i -го элемента светящей линии dL_i до расчетной точки.

Обозначая через I_γ – силу света с единицы длины светящей линии – 1 м, а также принимая, что в плоскости оси светящей линии распределение силы света подчиняется закону косинуса, что справедливо для большинства люминесцентных светильников, будем иметь

$$dI_{\gamma\alpha_i} = I_\gamma dL_i \cos \alpha_i. \quad (3.2)$$

Согласно рис. 3.1 можно получить:

$$\left. \begin{aligned} \cos \beta_i &= h_p / l_i, \\ l_i &= h_p / (\cos \gamma \cos \alpha_i), \\ dL_i \cos \alpha_i &= l_i d\alpha_i. \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

Подставляя (3.2) и (3.3) в (3.1), получаем

$$dE_A = \frac{I_\gamma}{h_p} \cos^2 \gamma \cos^2 \alpha_i d\alpha_i.$$

Освещенность от всей светящей линии определяется интегрированием этого выражения по длине светящей линии L :

$$E_A = \int_L dE_A = \frac{I_\gamma}{h_p} \cos^2 \gamma \int_0^\alpha \cos^2 \alpha_i d\alpha_i.$$

Интегрируя, находим

$$E_A = \frac{I_\gamma}{2h_p} \cos^2 \gamma \left(\alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right). \quad (3.4)$$

Из уравнения (3.4) видно, что освещенность точки, расположенной в плоскости, параллельной светящей линии, зависит от силы света с единицы длины этой линии I_γ , высоты расположения светящей линии относительно точки расчета h_p , угла γ и угла α , под которым видна светящая линия из точки расчета. При расположении точки расчета непосредственно под светящей линией большой протяженности ($\alpha = \pi/2, \gamma = 0$) формула примет вид

$$E_A = \pi I_\gamma / (4h_p). \quad (3.5)$$

Согласно формуле (3.5) освещенность расчетной точки, находящейся непосредственно под светящей линией бесконечной длины, уменьшается обратно пропорционально расстоянию светящей линии от точки расчета.

Рассмотренный расчет справедлив, когда расчетная точка находится напротив конца светящей линии. Если расчетная точка не совпадает с проекцией конца светящей линии, то последняя разделяется на две части или дополняется условным отрезком с последующим сложением или вычитанием освещенности. На рис. 3.2 приведены возможные варианты расположения расчетной точки относительно светящей линии. Определим для точки A_1 освещенность от светящей линии MD : $E_{A_1} = E_{MC} + E_{CD}$. Для точки A_2 , расположенной вне проекции светящей линии, $E_{A_2} = E_{MK} - E_{DK}$, где E_{MC} , E_{CD} , E_{MK} , E_{DK} – освещенность от участков светящихся линий.

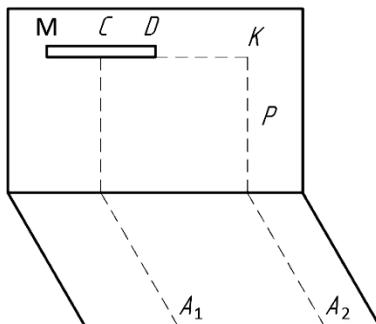


Рис. 3.2. Возможные случаи расположения расчетной точки относительно линейного светящегося элемента

3.1.2. Расчет освещенности от светящей линии с разрывами

Светильники с люминесцентными лампами, как правило, располагаются параллельными рядами вдоль наружной стены со светопроемами. Каждый ряд светильников представляет собой непрерывную (светильники вплотную примыкают один к другому) или прерывистую линию (светильники располагаются с некоторыми интервалами вдоль ряда) (рис. 3.3). Если в прерывистой линии отношение расстояния между торцами светильников λ к высоте их установки над расчетной поверхностью λ/h_p не превышает 0,5, распределение освещенности по расчетной плоскости вдоль ряда светильников можно считать равномерным. Снижение освещенности на краях ряда можно компенсировать уплотнением светильников на конце прерывистого ряда или установкой дополнительных светильников на конце ряда при сплошных светящих линиях. Принятый способ размещения светильников с люминесцентными лампами дает возможность производить расчет освещенности не от каждого светильника в отдельности с последующим суммированием освещенности, а вести расчет одновременно от всех светильников, образующих светящую линию.

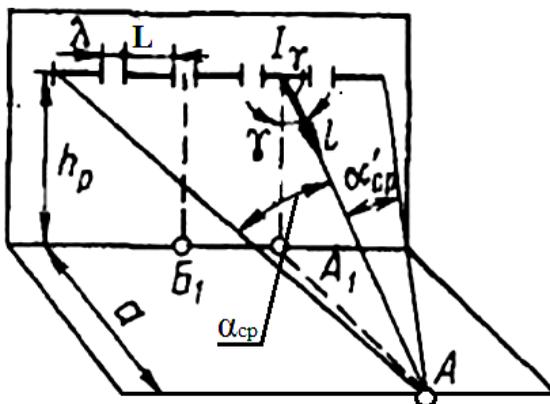


Рис. 3.3. К расчету освещенности от светящей линии с разрывами

При расчете освещенности от светящей линии с разрывами наиболее широко распространен метод *кривых равной относительной освещенности*.

Сущность этого метода заключается в следующем. Уравнение (3.4) при использовании светящей прерывистой линии можно записать в виде

$$E = \frac{I_{\gamma} L}{2h_p(L + \lambda)} \cos^2 \gamma \left(\alpha_{\text{ср}} + \frac{\sin 2\alpha_{\text{ср}}}{2} \right),$$

где $\alpha_{\text{ср}} = \text{arctg} \frac{nL_{\text{в}}}{l}$, n – количество светильников;

L – длина светильника;

λ – расстояние между светильниками;

$$L_{\text{в}} = L + \lambda;$$

$nL_{\text{в}}$ – общая длина светящей линии.

Из рис. 3.3 имеем

$$\sin 2\alpha_{\text{ср}} = 2 \sin \alpha_{\text{ср}} \cos \alpha_{\text{ср}} = \frac{2 \ln L_{\text{в}}}{l^2 + n^2 L_{\text{в}}^2}.$$

Введем понятие *условной силы света* линейного светящего элемента с источником света, световой поток которого равен 1000 лм:

$$(I_{\gamma})_{1000} = \frac{I_{\gamma} L}{\Phi_{\text{л}}} \cdot 1000, \quad (3.6)$$

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

Подставляя выражение $\alpha_{\text{ср}}$ и I_{γ} из (3.6), получаем

$$E = \frac{\Phi_{\text{л}}}{2h_p} (I_{\gamma})_{1000} \cos^2 \gamma \left[\frac{\ln L_{\text{в}}}{l^2 + n^2 L_{\text{в}}^2} + \text{arctg} \frac{nL_{\text{в}}}{l} \right]. \quad (3.7)$$

Это выражение можно представить в виде

$$E = \frac{\Phi_{\text{л}}}{h_p \cdot 1000} \varepsilon, \quad (3.8)$$

где ε – относительная освещенность от светящей линии

$$\varepsilon = 0,5(I_\gamma)_{1000} \cos^2 \gamma \left(\frac{\ln L_B}{l^2 + n^2 L_B^2} + \operatorname{arctg} \frac{nL_B}{l} \right). \quad (3.9)$$

Придав h_p значение 1 м и заменив координаты a и L_B относительными координатами $p' = a / h_p$ и $L' = nL_B / h_p$, можно построить кривые равных значений относительной освещенности. Для получения этих кривых строят предварительно кривые относительной освещенности $\varepsilon = f(p')$ для $L' = \text{const}$. Задаваясь определенными значениями ε , по относительной освещенности определяют p' , соответствующее каждому значению L' , и наносят их на сетку в прямоугольной системе координат.

Такие кривые равных значений относительной освещенности ε для подвесных светильников рассеянного света типа ЛСОО2 с люминесцентными лампами представлены на рис. 3.4. Здесь по оси ординат отложены относительные размеры светящей линии $L' = nL_B / h_p$, а по оси абсцисс – относительные расстояния от проекции оси линии $p' = a / h_p$, где nL_B – суммарная длина светильников и расстояний между ними на рассматриваемом участке светящей линии с разрывами.

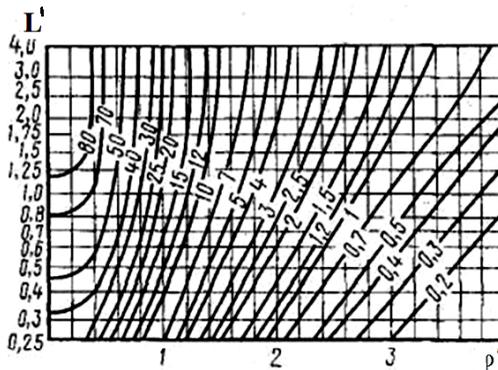


Рис. 3.4. Кривые равных значений относительной освещенности для светильников типа ЛСОО2

3.2. Практическая часть

3.2.1. Расчет освещенности от сплошной светящейся линии

Пример 3.1. Люминесцентная лампа ЛБ, имеющая световой поток (фактический) $\Phi_{\text{пл}} = 5220$ лм, расположена на высоте $h_{\text{р1}} = 3,5$ м параллельно расчетной плоскости. Определить освещенность в точке A расчетной плоскости, отстоящей на $a_1 = 2$ м от проекции конца линии на расчетную плоскость.

Определяем силу света с единицы длины лампы ($L_1 = 1,5$ м) в плоскости, перпендикулярной оси лампы:

$$I_{\gamma} = \Phi_{\text{пл}} / \pi^2 L_1 = \frac{5220}{\pi^2 1,5} = 353 \text{ кд.}$$

Находим α , $\sin 2\alpha$ и $\cos \gamma$:

$$\alpha = \arctg \frac{L_1}{l} = \arctg \frac{L_1}{\sqrt{a_1^2 + h_{\text{р1}}^2}} = \arctg \frac{1,5}{\sqrt{16,3}};$$

$$\alpha = 20^\circ = \frac{\pi}{9} \text{ или в радианной мере } \frac{3,14}{9} = 0,35;$$

$$\sin 2\alpha = 0,65;$$

$$\cos \gamma = h_{\text{р1}} / l = 3,5 / \sqrt{16,3} = 0,87.$$

Согласно уравнению (3.4) находим освещенность в расчетной точке:

$$E_A = [I_{\gamma} / (2h_{\text{р}})] (\alpha + \sin 2\alpha / 2) \cos^2 \gamma;$$

$$E_A = [353 / (2 \cdot 3,5)] (0,35 + 0,64 / 2) \cdot 0,76 \approx 25,7 \text{ лк.}$$

3.2.2. Расчет освещенности от светящейся линии с разрывами

Пример 3.2. Диффузные светильники ЛСО02 с двумя люминесцентными лампами ЛБ-40 (световой поток лампы $\Phi_{\text{л2}} = 3000$ лм) расположены в один ряд параллельно расчетной плоскости на высо-

те $h_{p2} = 4$ м. Полная длина ряда $L = 18$ м, длина светильника $L_2 = 1,2$ м, интервалы между смежными светильниками $\lambda = 1$ м. Определить освещенность в точке A , удаленной от светильников на расстояние $a_2 = 2$ м (рис. 3.5), приняв коэффициент запаса $k = 1,5$.

Определим относительные параметры

$p' = a_2 / h_{p2} = 2 / 4 = 0,5$; $L'_1 = (nL_B) / h_{p2} = 4 / 4 = 1$ – для участка MC с общей длиной светящей линии $nL_B = 4$ м; $L'_2 = 14 / 4 = 3,5$ – для участка CD с общей длиной светящей линии $nL_B = 14$ м.

Из рис. 3.4 по рассчитанным относительным параметрам p' , L'_1 , L'_2 находим: $\varepsilon_1 = 60$ лк, $\varepsilon_2 = 75$ лк.

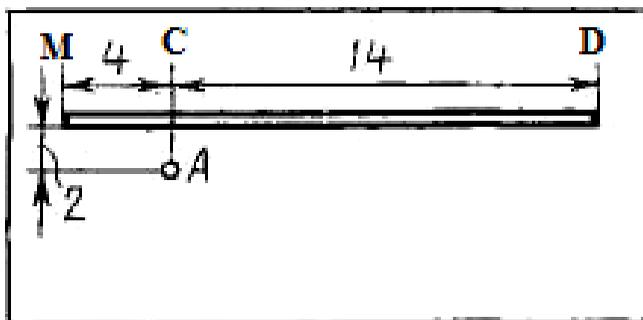


Рис. 3.5. К примеру расчета освещенности от светильников с люминесцентными лампами

Учитывая выражение (3.8) и методику определения освещенности от светящей линии, изложенную при анализе рис. 3.2, найдем фактическую освещенность E_A в точке A , которая представляет собой сумму освещенностей E_{MC} и E_{CD} .

$$E_A = \frac{N \cdot \Phi_{л2}}{h_p L'_B \cdot 1000 \cdot k} \Sigma \varepsilon,$$

где N – количество ламп в светильнике.

$$E_A = \frac{2 \cdot 3000(60 + 75)}{4(1,2 + 1) \cdot 1000 \cdot 1,5} \approx 41 \text{ лк.}$$

3.2.3. Задание по работе

Используя методику, изложенную в пунктах 3.2.1, 3.2.2, и данные табл. 3.1 (с учетом коэффициента масштабирования, приведенного в лабораторной работе № 1), выполнить расчет освещенности от сплошной светящейся линии и от светящейся линии с разрывами.

Таблица 3.1

Данные для расчета освещенности от сплошной светящейся линии и от светящейся линии с разрывами

Вариант	1	2	3	4
$\Phi_{л1}$, лм	5300	5320	5340	5360
h_{p1} , м	3,7	3,8	3,9	4,0
a_1 , м	2,2	2,4	2,6	2,8
L_1 , м	1,7	1,8	1,9	2,0
$\Phi_{л2}$, лм	3200	3400	3600	3800
h_{p2} , м	4,2	4,4	4,6	4,8
L_2 , м	1,4	1,6	1,8	2,0
λ , м	1,2	1,3	1,4	1,5
k	1,5	1,6	1,45	1,6
a_2 , м	2,0	2,2	2,4	2,6
L , м	16,0	17	19	20

Требования для получения допуска к выполнению работы

Знать методику расчета освещенности от сплошной светящейся линии и от светящейся линии с разрывами.

Требования к оформлению отчета

Изложить результаты расчета. Привести рабочий вариант рис. 3.1 и 3.3.

Контрольные вопросы

1. Получить выражение для расчета освещенности от сплошной светящейся линии.
2. Получить выражение для расчета освещенности от светящейся линии с разрывами.
3. Светящиеся поверхности.

Лабораторная работа № 4

4. РАСЧЕТ ОСВЕЩЕННОСТИ ОТ СВЕТЯЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

4.1. Теоретическая часть

4.1.1. Расчет освещенности от светящихся поверхностей равномерной яркости

В практике проектирования осветительных установок часто приходится сталкиваться с расчетом освещенности и светового потока от светящихся поверхностей конечных размеров, для которых нельзя применить закон квадратов расстояния вследствие значительной погрешности, возникающей при его использовании. Расчет освещенности от светящихся поверхностей, располагаемых обычно в плоскости потолка, сводится к определению освещенности от светящей поверхности, параллельной расчетной плоскости (рис. 4.1).

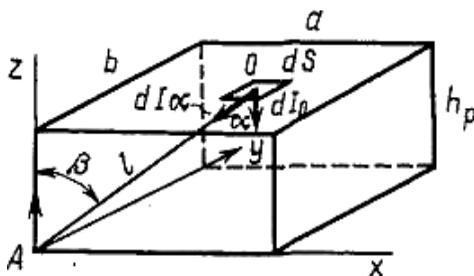


Рис. 4.1. К расчету освещенности от светящей поверхности

Светящая поверхность размерами $a \times b$ расположена на высоте h_p над расчетной плоскостью. Выделим на поверхности бесконечно малый светящийся элемент dS в точке O и определим освещенность, создаваемую этим элементом в точке A расчетной плоскости.

Согласно уравнению (1.1) освещенность, создаваемую в точке A , можно записать в виде

$$dE = dI_a \cos\beta / l^2. \quad (4.1)$$

При светораспределении светящего элемента, характеризуемого уравнением

$$I_a = I_0 \cos^n \alpha, \quad (4.2)$$

где n – показатель степени, определяющий форму кривой распределения силы света элемента светящей поверхности, выражение для элементарной освещенности может быть записано в виде

$$dE = dl_o \cos^n \alpha \cos \beta / l^2. \quad (4.3)$$

Из рис. 4.1 можно определить

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{h_p}{\sqrt{x^2 + y^2 + h_p^2}}; \\ l &= \sqrt{x^2 + y^2 + h_p^2}. \end{aligned}$$

Подставляя эти величины в уравнение (4.3), получаем

$$dE = dI_o h_p^n / (x^2 + y^2 + h_p^2)^{n/2}. \quad (4.4)$$

Силу света dI_o элемента светящей поверхности ds можно определить через яркость по нормали к светящей поверхности L_o .

$$dI_o = L_o ds.$$

Подставляя dI_o в выражение (4.4) и интегрируя по всей площади светящей поверхности, находим

$$E = L_o h_p^n \int_s \frac{ds}{(x^2 + y^2 + h_p^2)^{n/2}}. \quad (4.5)$$

где x и y – координаты элемента ds светящей поверхности.

Учитывая, что площадь светящей поверхности $S = ab$, выражение для освещенности можно записать в виде

$$E = L_0 f(a/h_p, b/h_p). \quad (4.6)$$

При равномерной одинаковой во всех направлениях яркости L_0 в выражении телесного угла в стерadians, значение светимости M определяют по формуле $M = \pi L_0$. Следовательно, формула (4.6), если π внести под знак функции, $af(a/h_p; b/h_p)$ обозначить через q (коэффициент освещенности), примет вид

$$E = Mq. \quad (4.7)$$

На основании решения уравнения (4.7) построены номограммы для определения освещенности на плоскости, параллельной и перпендикулярной светящей поверхности (рис. 4.2 и 4.3, соответственно). По вертикальной и горизонтальной осям номограммы отложены относительные размеры светящего прямоугольника $a' = a/h_p$ и $b' = b/h_p$. В этих осях построены кривые постоянных значений коэффициента освещенности в процентах.

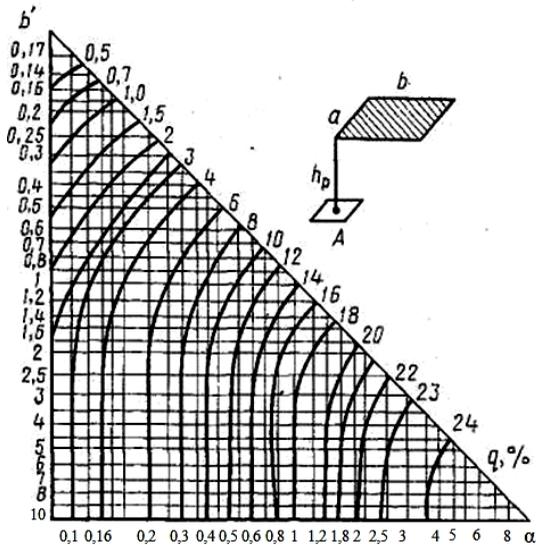


Рис. 4.2. График для расчета освещенности от горизонтального диффузного прямоугольника

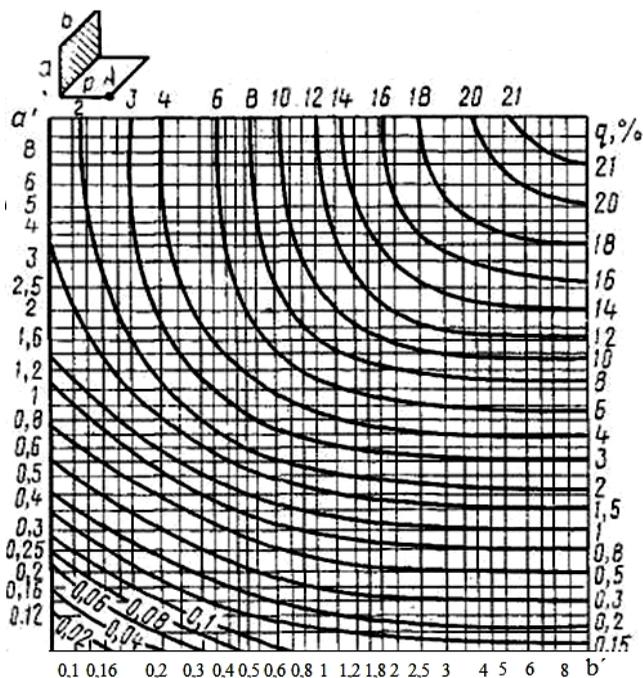


Рис. 4.3. График для расчета освещенности от вертикального диффузного прямоугольника

По рис. 4.2 можно определить коэффициент освещенности от светящего прямоугольника, параллельного расчетной плоскости, а с помощью рис. 4.3 – коэффициент освещенности от светящих прямоугольников, перпендикулярных расчетной плоскости.

Расчет освещенности с помощью приведенных номограмм допустим лишь в частном случае, когда проекция вершины светящего прямоугольника совпадает с расчетной точкой. Однако к этому частному случаю можно свести любой случай, встречающийся на практике. Любой светящий прямоугольник можно разбить на отдельные прямоугольники, вершины которых совпадают с точкой расчета A (рис. 4.4). В этом случае q при светящем прямоугольнике 1234, расположенном как показано на рис. 4.4, a , будет иметь значение

$$q_{1234} = q_{2579} - q_{1578} - q_{4679} + q_{3678},$$

а для рис. 4.4, б

$$q_{1243} = q_{1597} + q_{5289} + q_{7963} + q_{9846}.$$

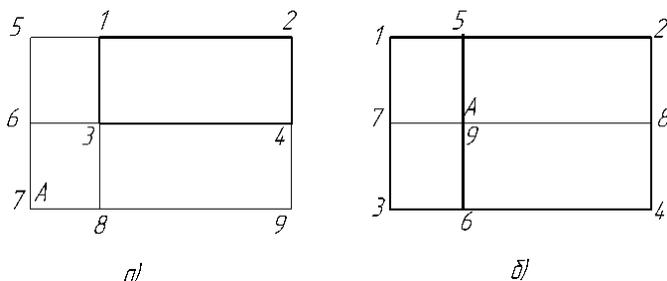


Рис. 4.4. Определение освещенности в точке *A* от прямоугольника 1234

4.1.2. Расчет освещенности с учетом многократных отражений

В практике осветительной техники освещаемый объем помещения ограничивается ограждающими поверхностями, отражающими значительную часть светового потока, попадающего на них от светильников и источников света. В установках внутреннего освещения отражающими поверхностями являются пол, потолок, стены и оборудование, установленное в помещении. В тех случаях, когда поверхности, ограничивающие пространство, имеют высокие коэффициенты отражения, отраженная составляющая освещенности может иметь большое значение, и ее учет необходим. Отраженные потоки в отдельных случаях могут быть сравнимы с прямыми, падающими непосредственно от осветительных приборов, и недооценка их может привести к значительным погрешностям в расчетах.

Рассмотренные методы расчета дают возможность рассчитать только прямую составляющую освещенности.

Расчет осветительной установки с одновременным учетом прямой и отраженной составляющих наиболее прост, если распределение светового потока по расчетной плоскости близко к равномерному. Это условие обеспечивается в тех случаях, когда фактическое размещение светильников оптимально или близко к оптимальному. В этом случае можно говорить о средней освещенности расчетной

плоскости и ввести понятие *коэффициента использования осветительной установки*, под которым принято понимать отношение светового потока, падающего на расчетную плоскость, к световому потоку источников света:

$$U_{\text{оу}} = \Phi_{\text{р}} / (n\Phi_{\text{л}}), \quad (4.8)$$

где $\Phi_{\text{р}}$ – световой поток, падающий на расчетную плоскость;

$\Phi_{\text{л}}$ – световой поток источника света;

n – число источников света.

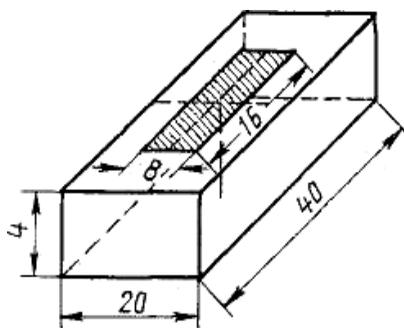


Рис. 4.6. К примеру расчета освещенности от светящей панели

Коэффициент использования осветительной установки, характеризующий эффективность использования светового потока источников света, определяется светораспределением и размещением светильников, а также соотношением размеров освещаемого помещения и отражающими свойствами его поверхностей.

На рис. 4.7 приведены кривые зависимости коэффициента использования осветительной установки для светильника рассеянного света от индекса помещений i , определяемого соотношением размеров освещаемого помещения:

$$i = AB / (h_{\text{р}}(A + B)), \quad (4.9)$$

где A и B – длина и ширина помещения;

$h_{\text{р}}$ – расчетная высота.

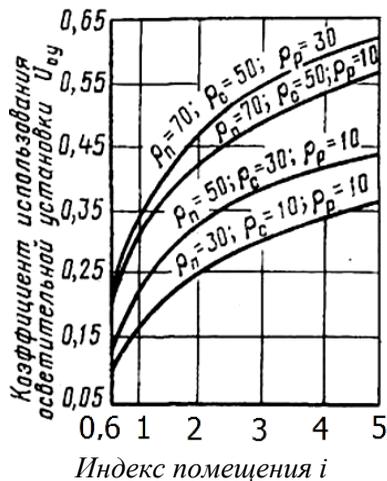


Рис. 4.7. График зависимости коэффициента использования осветительной установки от индекса помещения

Для помещений практически неограниченной длины можно считать индекс помещения $i = B/h$.

Согласно рис. 4.7 при увеличении индекса помещения наблюдается рост коэффициента использования осветительной установки, что объясняется увеличением светового потока, непосредственно падающего от светильников на расчетную плоскость с уменьшением высоты подвеса при неизменной площади помещения.

Кривые графиков соответствуют различным сочетаниям коэффициентов отражения: потолка – ρ_n , стен – ρ_c , расчетной плоскости – ρ_p , и наглядно иллюстрируют значительное влияние коэффициентов отражения ограждающих поверхностей на коэффициент использования осветительной установки. С увеличением коэффициентов отражения, ограничивающих помещение поверхностей, растет коэффициент использования осветительной установки, так как при этом уменьшаются потери светового потока при многократных отражениях от этих поверхностей.

При известном коэффициенте использования осветительной установки среднюю освещенность можно определить из следующего уравнения:

$$E_{cp} = \Phi_p / (S_p k) = n \Phi_{л} U_{oy} / (S_p k), \quad (4.10)$$

где Φ_p – световой поток, упавший на расчетную поверхность,
 S_p – площадь расчетной поверхности;
 Φ_l – световой поток лампы; k – коэффициент запаса;
 n – число ламп;
 U_{oy} – коэффициент использования осветительной установки (см. приложение 3).

Уравнение (4.10) широко используется и для решения обратной задачи – определения светового потока источников света, необходимого для создания заданной средней освещенности. Решая уравнение (4.10) относительно светового потока лампы, получим

$$\Phi_l = E_{cp} S_p k / (n U_{oy}). \quad (4.11)$$

В связи с тем, что нормирование искусственного освещения производится по минимальному значению освещенности, а не по среднему, а также учитывая, что в практике неизбежно наличие неравномерности распределения светового потока по расчетной плоскости, в уравнения (4.10) и (4.11) следует вводить поправочный коэффициент z , большей единицы и представляющий собой отношение средней освещенности к минимальной: $z = E_{cp} / E_{мин}$. Числовое значение этого коэффициента является функцией многих переменных и зависит от отношения расстояния между светильниками к расчетной высоте, с увеличением которого сверх рекомендуемых значений z резко возрастает.

При L' / h_p (L' – расстояние между светильниками; h_p – высота расположения светильника над расчетной поверхностью), не превышающих рекомендуемых значений, можно принимать $z = 1,15$ для ламп накаливания и ДРЛ и $z = 1,1$ – для люминесцентных ламп при расположении светильников в виде светящихся линий. Для отраженного освещения можно считать $z = 1,0$; при расчете на среднюю освещенность z не учитывается.

С учетом коэффициента z световой поток источников света, необходимый для создания нормированной освещенности, т. е. определенного ее минимального значения, определяется по формуле

$$\Phi_l = E_n S_p k z / (n U_{oy}), \quad (4.12)$$

где E_n – нормированное значение освещенности.

По рассчитанному значению светового потока и напряжению электрической сети выбирают ближайшую стандартную лампу, поток которой не должен отличаться от расчетного значения $\Phi_{\text{л}}$ больше чем на (10–20 %) (см. приложение 2). При невозможности выбора с таким приближением корректируется число светильников n .

При расчете люминесцентного освещения первоначально вместо числа светильников принимается число рядов светильников N , которое подставляют в формулу (4.12) вместо n . Тогда число светильников в ряду определится как $n = \Phi/\Phi_i$, где Φ_i – поток лампы в каждом светильнике. В процессе проведения расчетов возможно получение различных ситуаций при сопоставлении суммарной длины светильников с длиной помещения. Так, например, если суммарная длина светильников превышает длину помещения, то необходимо использовать более мощные лампы (у которых выше световой поток на единицу длины) или увеличить число рядов, или компоновать ряд из сдвоенных, строенных и т. п. светильников; суммарная длина светильников равна длине помещения: устройство непрерывного ряда светильников. Суммарная длина светильников меньше длины помещения: принимается ряд светильников с равномерно распределенным между светильниками разрывами. На основе технико-экономических сопоставлений между несколькими вариантами выбирают лучший. Рекомендуется, чтобы разрыв между светильниками не превышал 0,5 расчетной высоты (кроме многоламповых светильников в помещениях общественных и административных зданий).

При расчете осветительных установок со стандартными светильниками коэффициент использования осветительной установки определяют из таблиц приложения 3. Такие таблицы позволяют найти коэффициент использования для заданного типа светильника, коэффициентов отражения стен, потолка, пола и индекса помещения.

4.2. Практическая часть

4.2.1. Расчет освещенности от светящейся поверхности

Пример 4.1. Прямоугольное помещение площадью $S_1 = 20 \times 40$ м и высотой $h_{\text{п1}} = 4$ м освещается светящей панелью, расположенной в плоскости потолка помещения (рис. 4.6). Размеры панели $S_2 = 8 \times 16$ м.

Светимость панели $M = 200$ лм/м². Определить освещенность в центре помещения на уровне пола, принимая коэффициент запаса $k_1 = 1,5$.

Разбиваем светящийся прямоугольник на четыре части так, чтобы проекция одной из вершин каждой из них совпала с расчетной точкой. Стороны полученных прямоугольников находим из рис. 4.6: $a = 4$ м, $b = 8$ м. Соответственно, относительные размеры сторон: $a' = a/h_{p1} = 4/4 = 1$; $b' = b/h_{p1} = 8/4 = 2$.

По номограмме рис. 4.2 находим коэффициент освещенности для одного такого прямоугольника: $q = 16,5$ %.

Так как размеры всех четырех прямоугольников одинаковы, освещенность в расчетной точке A определяют так:

$$E = 4q \frac{M}{k_1} = 4 \cdot 0,165 \frac{200}{1,5} \approx 88 \text{ лк.}$$

4.2.2. Расчет освещенности с учетом многократных отражений

Пример 4.2. Освещение конторского помещения площадью $S_3 = 18 \times 26$ м и высотой $h_{p2} = 3,5$ м запроектировано двухламповыми люминесцентными светильниками типа ЛС002. Мощность ламп $P_{л} = 40$ Вт. Светильники размещены в виде трех сплошных светящихся линий, расположенных на расстоянии 6 м одна от другой по $n = 21$ шт. в каждой линии. Коэффициенты отражения потолка, стен и расчетной поверхности, соответственно, равны: $\rho_n = 0,7$; $\rho_c = 0,5$; $\rho_p = 0,3$. Рассчитать мощность источников света и суммарную установленную мощность, если нормированная освещенность $E_n = 300$ лк, а коэффициент запаса $k_2 = 1,5$.

Найдем индекс помещения

$$i = \frac{A \cdot B}{h_{p2}(A + B)} = \frac{18 \cdot 26}{3,5(18 + 36)} \approx 3.$$

Пользуясь таблицей приложения 3, определяем коэффициент использования осветительной установки со светильниками ЛС002 для найденного индекса помещения и заданных коэффициентов отражения: $U_{oy} = 0,53$.

При заданном размещении и выбранном типе светильников коэффициент $z = 1,1$. При этом световой поток каждого источника света, необходимый для обеспечения уровня нормируемой освещенности, определяется по формуле

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E_{\text{н}} S_3 k_2 z}{U_{\text{оу}} N} = \frac{300 \cdot 18 \cdot 26 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{0,53 \cdot 126} \approx 3202 \text{ лм},$$

где $N = 21 \cdot 3 \cdot 2$ – общее количество ламп в помещении.

Ближайшая по световому потоку (см. приложение 2) люминесцентная лампа типа ЛД-80 имеет номинальный световой поток 3440 лм. Определим фактическую освещенность

$$E_{\text{ф}} = 300 \frac{3440}{3202} \approx 322 \text{ лк}.$$

Определим общую установленную мощность $P_{\text{общ}}$ и удельную мощность осветительной установки ω .

$$P_{\text{общ}} = n P_{\text{л}} = 126 \cdot 40 = 5040 \text{ Вт};$$

$$\omega = \frac{P_{\text{общ}}}{S_3} = \frac{5040}{18 \cdot 26} = 10,77 \text{ Вт/м}^2.$$

4.2.3. Расчет мощности освещения осветительной установки и числа светильников

Пример 4.3. В помещении размером $S_4 = 12 \times 18$ м норма освещенности 50 лк. Светильники УПМ-15 установлены на высоте $h_{\text{рз}} = 3,5$ м над расчетной плоскостью. Коэффициент запаса $k_3 = 1,5$. Напряжение сети $V_1 = 127$ В. Определить мощность осветительной установки.

Пользуясь табл. приложения 4, определяем значение удельной мощности для напряжения $V_2 = 220$ В, площади 216 м^2 при высоте над расчетной поверхностью $3,5$ м; $p_{\text{табл}} = 9,5 \text{ Вт/м}^2$. Введем поправку

на напряжение: $p_1 = p_{\text{табл}} \cdot k_4$, где $k_4 = k_3^4 V_1^3 / V_2^3$. Определим мощность осветительной установки $P = p_1 S_4 = 9,25 \cdot 12 \cdot 18 \approx 2000$ Вт. При мощности лампы $W = 200$ Вт число светильников: $n = 2000/200 = 10$ шт.

4.2.4. Задание по работе

Используя методику, изложенную в пунктах 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3, и данные табл. 4.1 (с учетом коэффициента масштабирования, приведенного в лабораторной работе № 1), выполнить расчет освещенностей от светящейся поверхности с учетом многократных отражений, а также мощности освещения осветительной установки и числа светильников.

Таблица 4.1

Данные для расчета мощности освещения осветительной установки и числа светильников

Вариант	1	2	3	4
$S_1, \text{м}^2$	21 x 41	22 x 42	23 x 43	24 x 44
$S_2, \text{м}^2$	9 x 17	10 x 18	11 x 19	12 x 20
$h_{p1}, \text{м}$	4,2	4,4	4,6	4,8
k_1	1,52	1,54	1,56	1,58
$M, \text{лм/м}^2$	190	210	220	230
$S_3, \text{м}^2$	19 x 27	20 x 28	21 x 29	22 x 30
$h_{p2}, \text{м}$	3,7	3,8	3,9	4,0
$P_l, \text{Вт}$	45	50	55	60
n	22	23	24	25
ρ_n	0,72	0,74	0,76	0,78
ρ_c	0,52	0,54	0,56	0,58
ρ_D	0,32	0,34	0,36	0,38
$E_{ш}, \text{лм}$	340	380	420	460
k_2	1,53	1,55	1,57	1,59
z	1,12	1,14	1,16	1,18
$S_4, \text{м}^2$	13 x 19	14 x 20	15 x 21	16 x 22

Вариант	1	2	3	4
$h_{pз}, \text{ м}$	3,6	3,7	3,8	3,9
k_3	1,2	1,3	1,4	1,6
$V_1, \text{ В}$	130	135	140	145
$V_2, \text{ В}$	225	230	235	240
$W, \text{ Вт}$	180	190	210	220

Требования для получения допуска к выполнению работы

Знать методику расчета мощности освещения осветительной установки и числа светильников.

Требования к оформлению отчета

Изложить результаты расчета. Привести рабочий вариант рис. 4.6.

Контрольные вопросы

1. Получить выражение для расчета освещенности от светящейся поверхности равномерной яркости.
2. Получить выражение для расчета освещенности с учетом многократных отражений.
3. Методика определения мощности освещения осветительной установки и числа светильников.
4. Световые потоки, создающие освещенность на рабочей поверхности, и их характеристики.

Приложение 1

Светотехнические характеристики светильников
с лампами ДРЛ (отнесены к потоку ламп 1000 лм)

α, град	Сила света, кд, светильников типа вета, кд, светильников типа					
	УПДДРЛ	РСР05/К03; С35 ДРЛ	РСР08/Г03; РСР08/Г53	РСР05/Г03; С34 ДРЛ	РСР07; РСР08/Л00; РСР08/Л5'0;	РСР05/Д03; СД2РТС; РСР08/Д03; РСР08/Д5'3; СД2 ДРЛ
0	284	1050	470	630	147	290
5	280	980	465	625	147	290
15	277	830	465	570	140	285
25	258	530	430	475	152	265
35	228	215	330	320	188	235
45	181	80	195	150	201	185
55	106	38	80	45	162	118
65	56	8	15	8	85	60
75	26		5		5	28
85	6				5	5
90	2				5	
95	4				5	
105	4				20	
115	4				30	
125	5				38	
135	5				42	
145	5				34	
155	4				18	
165	4				7	
175	3		.		2	
180	3	—	—		—	—
К. п. д., %	72	80	80	80	80	72

Примечание: Защитный угол 15°.

Приложение 2

ТИП	W, Вт	U, В	I, А	Ф, Лм	S, Лм/Вт
ЛТБ	20	60	0,35	900	45
ЛБ	20	60	0,35	980	49
ЛДЦ	30	108	0,34	1110	37
ЛД	30	108	0,34	1380	46
ЛХБ	30	108	0,34	1500	50
ЛТБ	30	108	0,34	1500	50
ЛДЦ	40	108	0,41	1520	38
ЛБ	30	108	0,34	1740	58
ЛД	40	108	0,41	1960	49
ЛХБ	40	108	0,41	2200	55
ЛТБ	40	108	0,41	2200	55
ЛБ	40	108	0,41	2480	62
ЛДЦ	80	108	0,82	2720	34
ЛД	80	108	0,82	3440	43
ЛХБ	80	108	0,82	3840	48
ЛТБ	80	108	0,82	3840	48
ЛБ	80	108	0,82	4320	54

Коэффициенты использования осветительной установки
(светового потока). Светильники с люминесцентными лампами

Тип светильника	ПВЛМ-Д, ЛД, ЛСП06(05), ЛСП02 (04, 05, 06, 34—36)					ЛС002 (01, 02, 03)					ЛП002 (01-четы- рехламповые), ЛВО31(02), ЛВ001 (двух- и четырёхламповые)				
	70!	70	50	30	0	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0
$\rho_{\text{пот}}, \%$	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0
$\rho_{\text{ст}}, \%$	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0
$\rho_{\text{пола}}, \%$	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0
<i>i</i>	Коэффициенты														
0,5	28	27	21	18	16	19	19	14	11	8	19	18	15	13	8
0,6	33	32	25	22	20	23	22	18	15	10	22	21	19	16	12
0,7	38	36	30	26	24	26	25	21	18	11	25	24	22	19	14
0,8	42	39	33	29	28	29	27	23	20	23	27	26	24	21	16
0,9	46	42	37	32	31	32	30	25	22	14	30	28	27	23	18
1	49	45	40	35	34	34	32	27	24	15	32	30	28	25	20
1,1	52	48	42	38	36	36	34	28	26	16	34	31	30	27	22
1,25	55	50	45	40	39	44	40	36	33	32	36	33	32	29	23
1,5	60	54	49	45	44	42	38	32	30	19	39	36	34	32	26
1,75	63	57	52	48	47	45	41	34	32	20	42	38	36	34	28
2	65	59	55	51	49	47	42	36	34	21	43	39	38	35	30
2,25	68	62	57	53	52	49	44	37	35	22	45	41	39	37	31
2,5	70	63	58	55	54	50	45	39	36	23	47	42	40	38	33
3	73	65	61	58	56	53	47	40	38	24	49	44	42	40	34
3,5	75	67	62	60	58	54	48	41	39	24	50	45	43	41	36
4	77	68	64	61	59	56	49	42	40	25	51	46	44	42	37
5	80	70	67	65	62	59	51	44	42	26	54	47	45	44	39

Удельная мощность общего равномерного освещения.
 Светильники УПМ-15, «Астра – 1, 11, 12» (учтены значения
 $\rho_n = 50\%$; $\rho_e = 30\%$; $\rho_p = 10\%$; $k = 1,3$; $z = 1,15$)

Высота <i>h</i> , м	Площадь <i>S</i> , м ²	Удельная мощность, Вт/м ² , при освещенности, лк						
		5	10	20	30	50	75	100
2–3	10–15	2,5	4,5	8	11,3	18,4	26,4	33,6
	15–25	2,1	3,7	6,5	9,3	14,5	21	26,7
	25–50	1,8	3,2	5,6	7,7	12,5	17,8	22,5
	50–150	1,5	2,7	4,7	6,5	10,6	15	19,4
	150–300	1,3	2,3	4,1	5,6	9,4	13,3	17
	300	1,2	2,1	3,8	5,2	8,7	12,4	15,5
3–4	10–15	3,6	6,1	12,3	16,4	25	35,8	45,8
	15–25	2,9	4,9	9,1	12,9	21,4	28,7	38,8
	20–30	2,4	4	7,3	10,6	17,4	23,2	31
	30–50	1,9	3,3	5,8	8,5	13,4	18,8	24
	50–120	1,6	2,8	4,8	7,3	11,3	15,6	19,9
	120–300	1,3	2,3	4,1	6,1	9,5	13	16,7
	300	1,1	1,9	3,6	5,3	8,2	11	14,6
4–6	10–17	5	9,3	20,4	25,5	32,8	50	66,6
	17–25	3,7	7,1	14,6	19,3	26,9	41,6	55,5
	25–35	2,7	5,1	9,7	13,1	20,4	31,7	42,3
	35–50	2,2	3,8	7,5	10,4	16,2	24,2	32,2
	50–80	1,8	3,1	5,9	8,4	12,9	19	25,3
	80–150	1,5	2,6	5	7	10,6	15,6	20,8
	150–400	1,2	2,2	4,2	5,9	9	13,4	17,8
	400	1	1,8	3,4	4,9	7,4	10,9	14,5

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ	3
Лабораторная работа № 1	
1. РАСЧЕТ ПРЯМОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ОСВЕЩЕННОСТИ ОТ ТОЧЕЧНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ С СИММЕТРИЧНЫМ СВЕТОРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ	7
1.1. Теоретическая часть	7
1.2. Практическая часть	10
1.2.1. Расчет освещенности от симметрично расположенных светильников	10
1.2.2. Расчет освещенности от несимметрично расположенных светильников	12
1.2.3. Задание по работе.....	16
Лабораторная работа № 2	
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСВЕЩЕННОСТЕЙ ОТ ИЗЛУЧАТЕЛЯ С НЕСИММЕТРИЧНЫМ СВЕТОРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ И ОТ ПРОЖЕКТОРА	18
2.1. Теоретическая часть	18
2.1.1. Расчет прямой составляющей освещенности от точечных излучателей с несимметричным светораспределением.....	18
2.1.2. Расчет прожекторного освещения.....	20
2.2. Практическая часть	24
2.2.1. Расчет освещенности от точечного излучателя с несимметричным светораспределением.....	24
2.2.2. Расчет прожекторного освещения.....	25
2.2.3. Задание по работе.....	26
Лабораторная работа № 3	
3. РАСЧЕТ ОСВЕЩЕННОСТИ ОТ СВЕТЯЩЕЙСЯ ЛИНИИ	28
3.1. Теоретическая часть	28
3.1.1. Расчет освещенности от сплошной светящейся линии.....	28

3.1.2. Расчет освещенности от светящей линии с разрывами.....	31
3.2. Практическая часть	34
3.2.1. Расчет освещенности от сплошной светящейся линии.....	34
3.2.2. Расчет освещенности от светящей линии с разрывами.....	34
3.2.3. Задание по работе.....	36

Лабораторная работа № 4

4. РАСЧЕТ ОСВЕЩЕННОСТИ ОТ СВЕТЯЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ.....	37
4.1. Теоретическая часть	37
4.1.1. Расчет освещенности от светящих поверхностей равномерной яркости	37
4.1.2. Расчет освещенности с учетом многократных отражений.....	41
4.2. Практическая часть	45
4.2.1. Расчет освещенности от светящейся поверхности	45
4.2.2. Расчет освещенности с учетом многократных отражений.....	46
4.2.3. Расчет мощности освещения осветительной установки и числа светильников	47
4.2.4. Задание по работе.....	48

Приложение 1	50
Приложение 2	51
Приложение 3	52
Приложение 4	53

Учебное издание

**РАСЧЕТ ОСВЕЩЕННОСТИ
ОТ ИСТОЧНИКОВ
РАЗЛИЧНОГО ТИПА**

Лабораторный практикум
для студентов специальности 1-38 01 02 «Оптико-электронные
и лазерные приборы и системы» специализации
1-38 01 02 04 «Светотехника и источники света»

Составители:
КОЗЕРУК Альбин Степанович
ГРИЩЕНКО Алексей Васильевич

Редактор *Е. О. Германович*
Компьютерная верстка *Е. А. Беспанской*

Подписано в печать 10.09.2020. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 3,26. Уч.-изд. л. 2,55. Тираж 50. Заказ 822.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.