

Рис. 8. Освещение кухни (светильники ФСБ01-2×30 и ФВБ02-30)

отдельных функциональных зон, оборудованных светильниками и доступных для ознакомления населения (например, в салонах-магазинах «Свет», в мебельных магазинах, на выставках). Чрезвычайно важную роль в популяризации и распространении бытовых светильников с ЛЛ должно сыграть наличие в розничной продаже ЛЛ и необходимых для замены в светильниках комплектующих изделий.

Резюмируя отметим, что только совместными усилиями науки, производства и торговли можно решить достаточно трудную, но весьма актуальную задачу широкого внедрения люминесцентного освещения в быту.

* * *

7-0,40
ρ - 0,20

This is to discuss the main developments concerning domestic luminaires for fluorescent lamps. The paper emphasizes the promising future of these luminaires, outlines some problems in this field and offers ways for their solution.

7-0,01

УДК 628.95:535.8:539.216.1

РАСЧЕТ ПРОФИЛЯ ЗЕРКАЛЬНОГО ОТРАЖАТЕЛЯ ПЛОСКОГО СВЕТОВОДА

А. А. КОРОБКО, инж., О. К. КУЩ, канд. техн. наук, В. М. ПЯТИГОРСКИЙ, инж.

Всесоюзный светотехнический институт

Настоящая статья посвящена методу расчета профиля зеркального цилиндрического отражателя, исходя из требования равномерного распределения яркости по светопропускающей поверхности (СПП) плоского световода (ПС). При этом основными допущениями являются следующие.

1. ПС принят бесконечно протяженным в продольном направлении, а источник света является равномерно излучающей бесконечной нитью, световой поток с единицы которой равен Φ_0 .

2. Отражение и пропускание света СПП имеет диффузный характер, а его коэффициенты отражения и пропускания не зависят от направления падающего излучения.

3. Источник света расположен вне «запрещенной» области [1].

Второе условие позволяет перейти от требования равномерности распределения яркости по внешней (по отно-

шению к полости ПС) стороне СПП к аналогичному требованию для распределения освещенности $E_{\text{пп}}$ на внутренней стороне той же поверхности, т. е. $E_{\text{пп}}(x) = \text{const}$.

Освещенность $E_{\text{пп}}(x)$ в точке x СПП можно представить в виде

$$E_{\text{пп}}(x) = E_{\text{пр}}(x) + E_{\text{зер}}(x) + E_{\text{отр}}(x) + E_{\text{м.о.}}(x), \quad (1)$$

где $E_{\text{пр}}(x)$; $E_{\text{зер}}(x)$; $E_{\text{отр}}(x)$ и $E_{\text{м.о.}}(x)$ — освещенности, создаваемые в точке x за счет прямого светового потока источника; светового потока, отраженного от плоской зеркальной поверхности (ПЗП); светового потока источника, отраженного от цилиндрического отражателя, и многократных отражений в полости ПС (на рис. 1 показаны соответствующими лучами).

Если принять, что $E_{\text{м.о.}}$ распределяется по СПП равномерно, то расчет будет заключаться в определении такого профиля отражателя, распределение освещенности от которого компенсировало бы неравномерное распределение суммы $E_{\text{пр}}(x)$ и $E_{\text{зер}}(x)$. Следовательно, требуемое распределение освещенности, создаваемое отражателем на СПП, будет равно

$$E_{\text{отр}}(x) = E'_{\text{пп}} - E_{\text{пр}}(x) - E_{\text{зер}}(x), \quad (2)$$

где $E'_{\text{пп}}$ — освещенность на СПП без учета многократных отражений.

Значение $E'_{\text{пп}}$ можно определить как среднюю освещенность, созданную за счет первично упавшего на СПП светового потока,

$$E'_{\text{пп}} = m\Phi_0/L, \quad (3)$$

где m — доля светового потока источника, попавшая на СПП, как непосредственно от источника, так и за счет отражения от ПЗП и отражателя [1]; L — длина СПП.

Зависимость $E_{\text{пр}}(x)$ есть освещенность от равномерно излучающей бесконечной линии. Запишем ее через Φ_0 и линейные координаты положения источника ($x_{\text{и}}, h_{\text{и}}$), причем за начало координат ($x_0=0$) удобно принять проекцию линии пересечения ПЗП и СПП (рис. 2)

$$E_{\text{пр}}(x) = \frac{\Phi_0}{2\pi h_{\text{и}}} \frac{1}{1 + \left(\frac{x_{\text{и}} - x}{h_{\text{и}}}\right)^2}. \quad (4)$$

Для определения $E_{\text{зер}}(x)$ воспользуемся приемом построения зеркального изображения источника относительно ПЗП. Из рис. 2 видно, что этот случай можно свести к предыдущему, заменив координаты источника ($x_{\text{и}}, h_{\text{и}}$) на координаты его изображения ($x'_{\text{и}}, h'_{\text{и}}$), а также учитя коэффициент отражения ПЗП $\rho_{\text{зер}}$:

$$E_{\text{зер}}(x) = \frac{\rho_{\text{зер}}\Phi_0}{2\pi h'_{\text{и}}} \frac{1}{1 + \left(\frac{x'_{\text{и}} - x}{h'_{\text{и}}}\right)^2}. \quad (5)$$

Используя рис. 2, выразим координаты $x'_{\text{и}}, h'_{\text{и}}$ через $x_{\text{и}}, h_{\text{и}}$

$$x'_{\text{и}} = x_{\text{и}} \cos 2\delta + h_{\text{и}} \sin 2\delta; \quad h'_{\text{и}} = x_{\text{и}} \sin 2\delta - h_{\text{и}} \cos 2\delta, \quad (6)$$

где δ — угол схождения ПЗП и СПП.
Отметим, что зависимость $E_{\text{зер}}(x)$ имеет скачок в точке $x_{\text{гр}}$ (рис. 1), что связано с экранированием части СПП краем ПЗП (рис. 2).

Подставляя в (2) уравнения (3)–(5), получим искомую зависимость $E_{\text{отр}}(x)$.

Прежде чем перейти к выводу уравнения профиля отражателя, необходимо выбрать схему отраженных лучей. В нашем случае удобно выбрать схему A , при кото-

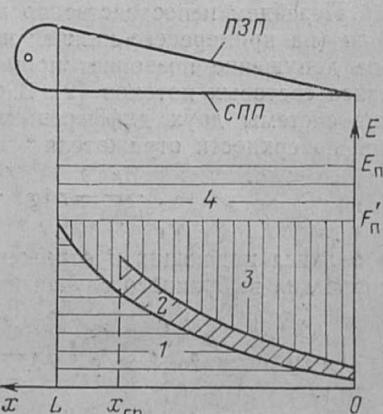


Рис. 1. К определению $E_{\text{отр}}(x)$. Составляющие и области значений соответствен:

1 — $E_{\text{пр}}(x)$; 2 — $E_{\text{зер}}(x)$; 3 — $E_{\text{отр}}(x)$; 4 — $E_{\text{м.о.}}$

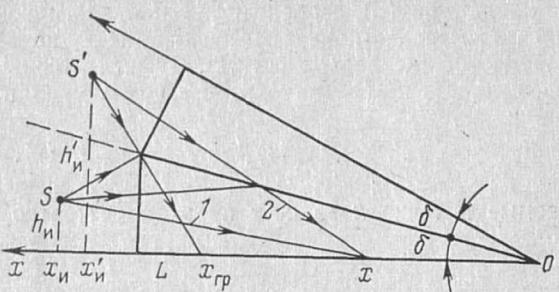


Рис. 2. К определению $E_{\text{пр}}(x)$ и $E_{\text{зеп}}(x)$:

1 — $E_{\text{пр}}(x)$; 2 — $E_{\text{зеп}}(x)$

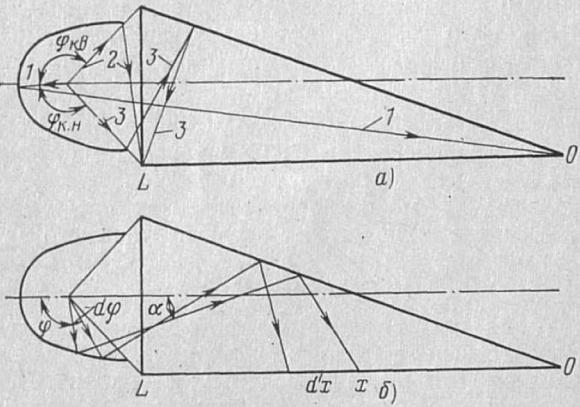


Рис. 3. К расчету оптической части ПС:

а — оптическая схема ПС (1, 2 и 3 — световые лучи); б — к выводу уравнения профиля отражателя

рой выполняются следующие граничные условия: луч 1, упавший в середину отражателя ($\varphi=0$), после отражения попадает в точку схождения ($x=0$), а лучи 2 и 3, упавшие соответственно на верхний $\Phi_{\text{k},v}$ и нижний $\Phi_{\text{k},n}$ края отражателя, попадут на СПП в точку $x=L$ так, как это показано на рис. 3,а. Таким образом, при перемещении падающего на отражатель луча от $\Phi_{\text{k},v}$ до $\Phi_{\text{k},n}$ соответствующий отраженный луч пройдет от точки L до точки 0 и обратно, т. е. дважды по СПП. При такой схеме в каждой точке x освещенность $E_{\text{отр}}(x)$ будет создаваться как от верхней [$E_{\text{отр},v}(x)$], так и от нижней [$E_{\text{отр},n}(x)$] частей отражателя. Соотношение между $E_{\text{отр},v}(x)$ и $E_{\text{отр},n}(x)$ может быть произвольным. Для упрощения расчета удобно выбрать такое соотношение, при котором $|\Phi_{\text{k},v}|=|\Phi_{\text{k},n}|$. При этом получим:

$$E_{\text{отр},v}(x) = \frac{E_{\text{отр}}(x)}{1 + \rho_{\text{зеп}}}; \quad (7)$$

$$E_{\text{отр},n}(x) = \frac{\rho_{\text{зеп}} E_{\text{отр}}(x)}{1 + \rho_{\text{зеп}}}.$$

Уравнения (7) позволяют независимо рассчитывать каждую из частей отражателя.

Перейдем непосредственно к расчету профиля отражателя (на примере его нижней части). Принятое выше первое допущение позволяет применить для этого метод баланса световых потоков [2]. В основе метода лежит решение системы двух дифференциальных уравнений зеркальной поверхности отражателя*

$$\frac{dr}{d\varphi} = r \operatorname{tg}\left(\frac{\varphi - \alpha}{2}\right) \quad (8)$$

и баланса падающих и отраженных световых потоков, которое для выбранного случая имеет вид:

$$\rho_{\text{отр}} \frac{\Phi_0}{2\pi} d\varphi = E_{\text{отр},n}(x) dx, \quad (9)$$

где $\rho_{\text{отр}}$ — коэффициент отражения отражателя.

Подставляя (7) в (9), получим уравнение

$$\rho_{\text{отр}} (1 + \rho_{\text{зеп}}) \frac{\Phi_0}{2\pi} d\varphi = E_{\text{отр}}(x) dx, \quad (10)$$

которое является общим для верхней и нижней частей отражателя, что и объясняет выбор условия $|\Phi_{\text{k},v}|=|\Phi_{\text{k},n}|$.

Кроме этих соотношений, необходимо записать уравнение, связывающее координаты текущей точки на отражателе (r, φ) (рис. 3,б) с направлением отраженного луча относительно оптической оси a ПС (уравнение связи),

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h_i + r \sin \varphi - x \sin 2\delta}{x_i + r \cos \varphi - x \cos 2\delta}. \quad (11)$$

В (8) целесообразно перейти от переменной φ к переменной x . Тогда

$$\frac{dr}{dx} = \frac{d\varphi}{dx} r \operatorname{tg}\left(\frac{\varphi - \alpha}{2}\right). \quad (12)$$

Кроме того, выразим угол φ , входящий в (11) и (12), через x . Для этого проинтегрируем левую и правую части (10) соответственно от φ_0 до φ и от x_0 до x . Тогда

$$\varphi = \varphi_0 + \frac{2\pi}{\rho_{\text{отр}}(1 + \rho_{\text{зеп}}) \Phi_0} \int_{x_0}^x E_{\text{отр}}(\xi) d\xi. \quad (13)$$

Уравнения (10), (11) и (13) определяют правую часть (12) как функцию $f(r, x)$ двух переменных, т. е.

$$dr/dx = f(r, x). \quad (14)$$

Если учесть начальные условия $x=x_0$, $r=r_0$, то получаем задачу Коши для дифференциального уравнения первого порядка. Решение (14) дает искомую зависимость $r(x)$ или $r(\varphi)$ согласно (13).

Уравнение профильной кривой для верхней части отражателя определяется подстановкой $\delta=0$ в (11).

Необходимо отметить, что замена выбранной нами схемы отраженных лучей расходящейся схемой приведет лишь к изменению знака у производной $d\varphi/dx$, а уравнения (8) — (14) останутся теми же.

Здесь необходимо сделать замечание, касающееся методологии решения обратной задачи, т. е. расчета профиля отражателя по заданному светораспределению, основанной на методе баланса световых потоков. Анализ показывает, что хотя на протяжении значительного времени эта задача решалась разными авторами по-разному, смысл ее решения сводился к поиску лучшей аппроксимации искомого профиля. Так, известны варианты набора осесимметричного отражателя в виде конических [3], торOIDНЫХ [4] и параболоидных [5] зон. Не подвергая критике эти варианты, отметим, что все они возникли в силу необходимости облегчения ручного счета. При этом неизбежно терялась точность, да и оценка погрешности расчета была затруднена или отсутствовала. Известны также итерационные методы решения данной задачи (например [6]). Однако более эффективно применять методы численного интегрирования дифференциальных уравнений с использованием ЭВМ.

Решение (14) осуществлялось по программе, представляющей переложение на язык Фортран алгоритма Рунге — Кutta, погрешность которой в программе оценивалась методом двойного пересчета.

Основными этапами программы являются следующие.

1. Расчет необходимого положения источника x_i , исходя из третьего допущения.

2. Расчет требуемого распределения освещенности $E_{\text{отр}}(x)$ с помощью (2), а также (3) — (5).

3. Расчет профиля отражателя путем численного интегрирования (14) указанным выше методом с привлечением (10), (11) и (13) для нахождения правой части (14).

Кроме того, в программе предусмотрен поверочный расчет, целью которого является оценка неравномерности распределения освещенности $E_{\text{п}}(x)$ по СПП при использовании в СП металлогалогенных ламп. Такой источник све-

* Для удобства индекс «н» у переменных опущен.

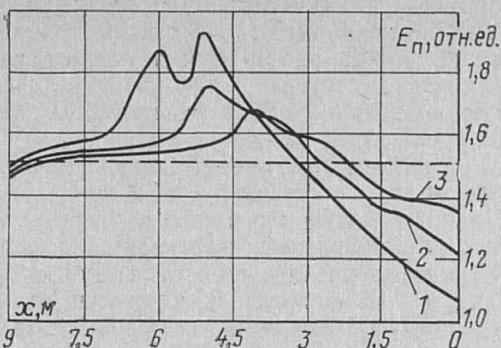


Рис. 4. Распределение освещенности $E_p(x)$ по СПП (длина канала ПС 9 м)

Размер входного торца D , м: 1 — 0,6; 2 — 0,8; 3 — 1,0. Пунктиром показан уровень $E_p(x)$ с источником света в виде нити

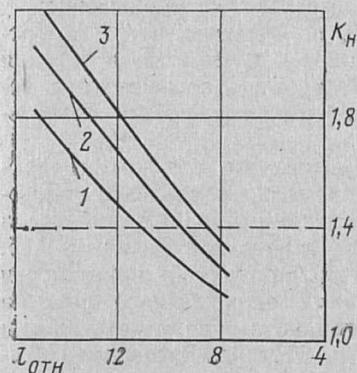


Рис. 5. Зависимость коэффициента неравномерности освещенности K_n от относительной длины $l_{\text{отн}}$ канала ПС:
1 — ДРИ250; 2 — ДРИ700; 3 — ДРИ2000. Пунктиром показан допустимый уровень K_n

та принят как трубка бесконечной длины **, яркостное тело которой аппроксимировано тремя равнояркими коаксиальными цилиндрами [7]. Не останавливаясь подробно на поверочном расчете, отметим, что поиск границ светлой части отражателя осуществляется в программе методом итераций с использованием принципа «обратного луча» [8].

На рис. 4 даны кривые распределения $E_p(x)$ по СПП с лампой ДРИ250 для трех значений высоты входного торца, т. е. для трех значений относительной длины канала ПС ($l_{\text{отн}}=L/D$). На нем же показан уровень $E_p(x)$ для источника в виде нити, для которого был рассчитан профиль отражателя. Из сравнения приведенных кривых видно, что в случае реальных источников света происходит перераспределение светового потока из зоны, прилегающей к точке схождения ($x=0$), в центральную часть СПП, что приводит к неравномерности освещенности, причем с увеличением $l_{\text{отн}}$ неравномерность возрастает. Отдельные максимумы на кривых $E_p(x)$ являются результатом аппроксимации яркостного тела источника света. В качестве примера можно также показать, что для случая $D=600$ мм и $r_0=87$ мм отражатель имеет следующие параметры: $2\varphi=30^\circ$; радиус-вектор конечной точки верхней части отражателя $r_{k,v}=746$ мм; нижней $r_{k,n}=670$ мм; $x_i=637$ мм.

Неравномерность распределения $E_p(x)$ можно характеризовать коэффициентом неравномерности $K_n=E_{\max}/E_{\min}$, где E_{\max} и E_{\min} — максимальное и минимальное значения $E_p(x)$ на СПП. Как видно из рис. 5, принятое в качестве критерия значение $K_n=1,4$ [1] удовлетворяется при $l_{\text{отн}}$ порядка 10. Это позволяет применять рассмотренный метод для расчета оптической части ПС без дополнительной корректировки формы отражателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Коробко А. А., Пятигорский В. М. Расчет осветительных установок с плоскими световодами. — Светотехника, 1981, № 11, с. 15—17.

** Оценка неравномерности распределения освещенности по СПП в продольном направлении (вдоль линии расположения источников) была сделана в [1].

2. Болдырев Н. Г. О расчете несимметричных зеркальных арматур (кососветов). — Светотехника, 1932, № 7, с. 7—8.

3. Момма А. А., Епанешников М. М. Расчет зеркальных светильников местного освещения. — Светотехника, 1937, № 9, с. 189—193.

4. Гершун А. А., Болдырев Н. Г. Векторный метод расчета симметричных зеркальных осветительных колпаков. — Светотехника, 1936, № 1, с. 7—12.

5. Ермолинский Н. Н. Светотехнические принципы построения зеркальных ламп. — Электричество, 1949, № 4, с. 61—66.

6. Рымов А. И., Скоблова В. И. Методика расчета профиля отражателя для имитаторов солнечного излучения неосевого типа. — Светотехника, 1978, № 3, с. 3—5.

7. Гавриленков В. А. К расчету зеркальных симметричных светильников с лампами ДРИ. — Светотехника, 1973, № 3, с. 12—14.

8. Кущ О. К., Митин А. И. Расчет светораспределения зеркальных симметричных поверхностей с протяженными источниками света на ЭВМ. — Светотехника, 1976, № 6, с. 5—8.

T-0,34

* * *

P-609

A method is described for designing the shape of the specular plane light-guide reflector. The method is based on the desired illuminance distribution over the light-transmitting surface, which, in turn, depends on the direct luminous flux of the source, on the flux reflected from the specular surfaces and on the multiple reflections. Data are given on the illuminance distribution over the light-transmitting surface at the different relative lengths of the light-guide channel and of the source. Conditions are stated in which it is possible to use this method for designing the plane light-guide reflector in the case of metal-halide lamps.

T-901

УДК 628.946.001.24

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ОТРАЖАТЕЛЯ ПРОЖЕКТОРНОГО ОГНЯ

Л. Е. БЕЛОУСОВА, канд. физ.-мат. наук

СКТБ световых и светосигнальных приборов, г. Москва

Нахождение температуры отражателя является одной из задач, решаемых при конструировании прожекторного огня [1].

Будем считать, что форма металлического отражателя близка к параболоиду.

Представим мощность P_1 , идущую на нагрев отражателя, в виде

$$P_1 = \gamma P, \quad (1)$$

где P — мощность лампы; γ — доля мощности лампы, идущая на нагрев отражателя.

Учитываем только прямой лучистый поток источника, падающий на отражатель. Предполагаем, что тепловой поток от колбы лампы на отражатель полностью поглощается последним. Тепловой баланс лампы считаем заданным.

При принятых допущениях получим:

$$\gamma = \alpha(1 - \rho)(1 - a - a') + \alpha_1 a, \quad (2)$$

где α — доля лучистого потока источника, падающая на отражатель; ρ — коэффициент отражения отражателя; a и a' — доли мощности лампы, идущие на нагрев колбы и цоколя; α_1 — часть a , поглощенная отражателем.

Для равнояркого шарового источника, находящегося в фокусе отражателя, учитывая связь телесного угла охвата отражателя ω с соответствующим плоским углом 2φ , имеем [1]:

$$\omega = \varphi / 4\pi = (1 - \cos \varphi) / 2.$$

Отсюда для параболоидного отражателя получим:

$$\alpha = 16\xi^2 / (16\xi^2 + 1), \quad (3)$$

где $\xi = l/D$ — относительная глубина отражателя; l — глубина; D — диаметр выходного отверстия.

$$\xi = D/16f,$$

где f — фокусное расстояние отражателя.

Согласно (3) доля лучистого потока источника, падающая на отражатель, одинакова для отражателей с одинаковой относительной глубиной.