

# К РАСЧЕТУ КРИВЫХ СИЛЫ СВЕТА ПАРАБОЛОИДНОГО ОТРАЖАТЕЛЯ С ПОПЕРЕЧНО РАСФОКУСИРОВАННЫМ СВЕТЯЩИМ ТЕЛОМ

Канд. техн. наук В. А. Гавриленков, доктор техн. наук, проф. В. В. Трембач  
Смоленский филиал МЭИ, Московский энергетический институт

A grapho-analytic approach is described to the construction of intensity distribution curves for paraboloid reflectors with lateral-defocussed light sources. Some experimental and calculation results are given for the situations where reflectors with a filament luminous body are involved.

\* \* \*

При заданной форме и размерах светящего тела параметры светового пучка прибора с параболоидным отражателем существенно зависят от расфокусировки источника света. Влияние продольной расфокусировки достаточно полно отражено в современной литературе [Л. 1—3]. В настоящей статье предлагается методика расчета кривых силы света параболоидного отражателя с поперечно расфокусированным светящим телом и приводятся некоторые результаты исследований светораспределения такой системы.

Светораспределение расфокусированной системы, состоящей из параболоидного отражателя и источника света, может быть рассчитано зональным методом. При этом значение силы света зоны по некоторому направлению пространства  $\alpha, \beta$  определяется по формуле

$$(I_\varphi)_{\alpha\beta} = \rho L_\varphi A_\varphi \cos \alpha k_{\alpha\beta}, \quad (1)$$

где  $\rho$  — коэффициент отражения параболоидного отражателя;  $L_\varphi$  — яркость светящего тела по направлению к средней точке зоны;  $A_\varphi$  — площадь светового отверстия зоны;  $\cos \alpha$  — учитывает проективное сокращение светового отверстия зоны;  $k_{\alpha\beta}$  — коэффициент заполнения светового отверстия зоны светлой частью.

Из (1) следует, что основной задачей расчета силы света зоны является отыскание коэффициента заполнения  $k_{\alpha\beta}$ . В настоящей работе эта задача решается при помощи метода элементарных отображений (ЭО) путем построения и анализа зонального отображения [Л. 1, 2]. Для этого необходимо знать функции хода падающих и отраженных осевых лучей зоны, размеры ЭО и их ориентацию в пространстве.

Рассмотрим на поверхности параболоидного отражателя точку  $M$  с координатами  $r, \varphi$  и  $\psi$  (рис. 1, а). Пусть источник света расфокусирован в горизонтальной плоскости  $\psi = \pm 90^\circ$  и помещен в точку  $O_1$  с координатами  $x=s, z=0$  и  $y=0$ . Тогда в падающем пучке осевой луч  $O_1M$  составит с фокальным лучом  $OM$  угол  $\Delta\alpha$  (условная угловая aberrация), значение которого определяется из решения прямоугольных треугольников  $O_1mM, O_1mO, OMM', MM'M''$  и  $OMM''$

$$\Delta\alpha = \arctg \frac{\sqrt{1 - \sin^2 \varphi \sin^2 \psi}}{r/s - \sin \varphi \sin \psi}. \quad (2)$$

В отраженном пучке осевой луч  $O'_1M$  составит с фокальным лучом  $O'M$  также угол  $\Delta\alpha$ . Эти лучи будут лежать в плоскости, повернутой по отношению к горизонтальной на угол  $\gamma$ . При выборе в качестве проектирующей поверхности плоскости, перпендикулярной оси  $OZ$ , угол  $\gamma$  определится из следующих соображений. Пусть в фокальной плоскости  $XOZ$  след меридианальной плоскости, проходящей через точку  $M$ , повернут на угол  $\psi$  от следа вертикальной меридианальной

плоскости  $\Phi_0$  (рис. 1, б). Тогда на проектирующей плоскости отображением угла  $\psi$  будет угол  $\theta$ , равный проекции угла  $\psi$  на плоскость, перпендикулярную фокальному лучу  $OM$ . Из рисунка следует:

$$\operatorname{tg} \theta = \operatorname{tg} \psi \cos \varphi. \quad (3)$$

Разность углов  $\psi$  и  $\theta$  и будет определять искомый угол  $\gamma$ . Здесь после простых преобразований получаем:

$$\gamma = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{\operatorname{tg} \psi (1 - \cos \varphi)}{1 + \operatorname{tg}^2 \psi \cos \varphi}. \quad (4)$$

При практических построениях области следов осевых лучей зоны (отображения зоны) угловую aberrацию  $\Delta\alpha$  можно разложить на горизонтальную и вертикальную составляющие

$$\begin{aligned} \Delta\alpha_r &= \operatorname{arc} \operatorname{tg} [\operatorname{tg} \Delta\alpha \cos \gamma]; \\ \Delta\alpha_v &= \operatorname{arc} \operatorname{tg} [\operatorname{tg} \Delta\alpha \sin \gamma]. \end{aligned} \quad (5)$$

При построении зонального отображения необходимо учитывать следующее: 1) плоскость  $MaO_1$  (рис. 1, а), в которой лежит угловой размер источника  $\xi$ , не параллельна меридианальной плоскости, проходящей через точку  $M$ , и поэтому следы ЭО будут поворачивать-

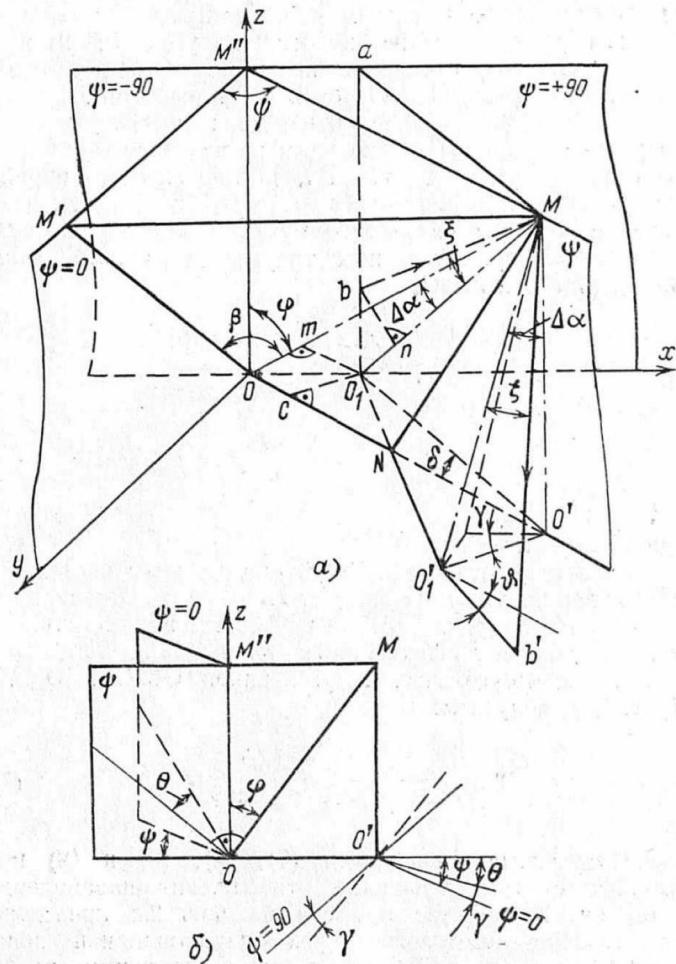


Рис. 1. К построению зонального отображения.

*a* — схема хода падающих и отраженных осевых лучей параболоидного отражателя при поперечной расфокусировке светящего тела; *b* — к определению угла поворота отраженного осевого луча.

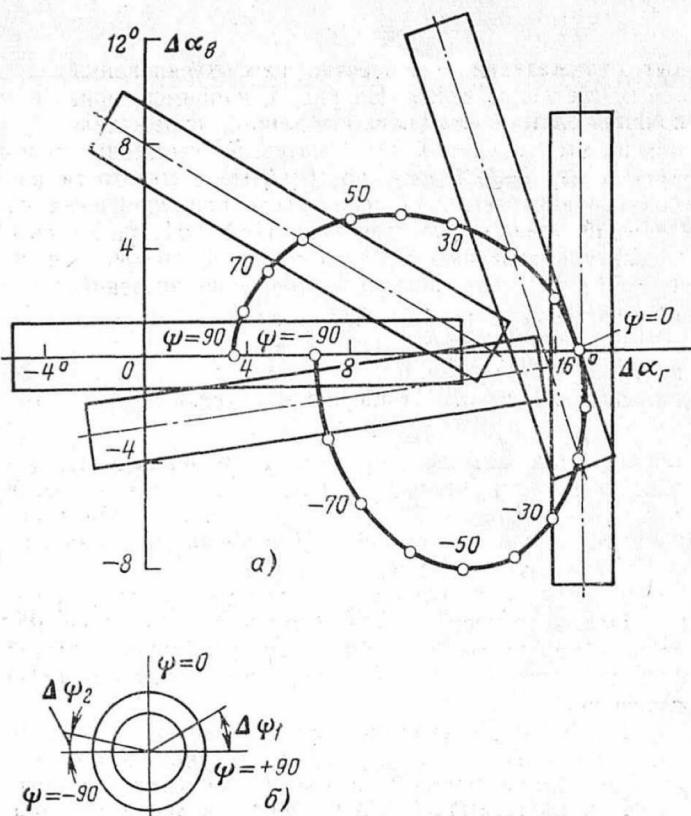


Рис. 2. Зональное отображение (а) и светлая часть (б) параболоидной зеркальной зоны с нитевым светящим телом, расфокусированным в горизонтальной плоскости.

ся по отношению к следам соответствующих меридиональных плоскостей на некоторый угол  $\theta$ ; 2) при поперечной расфокусировке из-за нарушения симметрии угловые размеры ЭО точек зоны различны.

Рассмотрим влияние поперечной расфокусировки на угловые размеры ЭО на примере нитевого светящего тела диаметром  $d$  и длиной  $l$ , расположенного параллельно оси  $OZ$  с центром в точке  $O_1$  (рис. 1, а). Здесь угловые размеры падающего пучка и ЭО определяются из решения прямоугольных треугольников  $bM$ ,  $Obn$ ,  $MaO_1$ ,  $MM''O$  и  $MtO_1$

$$\xi = \arctg \frac{l \sqrt{(r')^2 - r^2 \cos^2 \varphi}}{2(r')^2};$$

$$\xi_n = \arcsin \frac{d}{2r'}, \quad (6)$$

где  $r' = r - \sin \varphi \sin \psi$ .

Угол поворота следа ЭО  $\theta$  определяется из тех же соображений, что и угол  $\theta$ , т. е. рассматривается проекция угла  $\delta$  (рис. 1, а) на плоскость, перпендикулярную падающему фокальному лучу  $OM$ . Определяя  $\tg \delta$  из прямоугольных треугольников  $OO_1C$  и  $O'O_1$  (рис. 1, а), получаем:

$$\theta = \arctg \frac{\cos \varphi \cos \psi}{r/s \sin \varphi - \sin \psi}. \quad (8)$$

Полученные зависимости (2), (4), (6) и (8) позволяют строить зональные отображения параболоидных зон. В качестве примера на рис. 2, а приведено отображение светового пучка параболоидной зоны ( $f=24,4$  мм,  $\Phi_{cr}=75^\circ$ ) с нитевым светящим телом ( $d=1,6$  мм,  $l=12,4$  мм), расфокусированным в горизонтальной плоскости на 12 мм. Здесь ввиду симметрии рассматривается зональное отображение половины зоны в пределах угла  $\psi$  от  $-90^\circ$  до  $+90^\circ$ .

Зональное отображение позволяет прослеживать изменение светлой части зоны по разным направлениям пространства и определять коэффициент заполнения светового отверстия зоны светлой частью. Для этого необходимо из всего множества следов ЭО выделить подмножество следов (см. рис. 2, а), перекрывающих данное направление. Тогда коэффициент заполнения  $k_{\alpha,\beta}$  можно определить по формуле (рис. 2, б)

$$k_{\alpha,\beta} = \frac{\sum \Delta \psi_i}{180}, \quad (9)$$

где  $\Delta \psi_i$  — части области следов осевых лучей, являющиеся геометрическим местом центров следов ЭО, перекрывающих точку « $a$ » ( $\alpha, \beta$ ).

Анализ зонального отображения показывает, что светораспределение параболоидного отражателя с поперечно расфокусированным светящим телом несимметрично и для его описания необходимо строить минимум две кривых силы света: в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Схема построения кривых силы света при этом может быть принята следующей.

1. По (2), (4) и (5) рассчитывают и строят область следов осевых лучей зоны.

2. По (6) рассчитывают размеры следов ЭО и по (8) рассчитывают угол  $\theta$ . Страйт зональное отображение.

3. Для выбранных направлений « $a$ » в исследуемой плоскости (вертикальной, горизонтальной или промежуточной) определяют светлую часть зоны и по (9) рассчитывают коэффициент  $k_{\alpha,\beta}$ .

4. По (1) рассчитывают значения силы света зоны для заданных направлений и строят зональную кривую силы света.

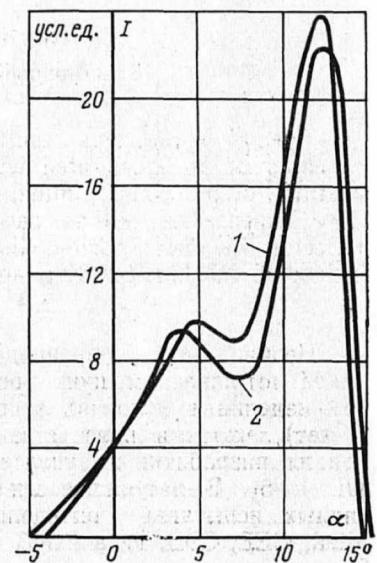
Суммарные кривые силы света в вертикальной и горизонтальной плоскостях получают суммированием зональных кривых силы света.

При расчетах кривых силы света параболоидных отражателей со светящими телами другой формы (шаровыми, дисковыми и др.) необходимо учитывать изменение формы ЭО и их следов, размеры которых будут определяться по формулам, отличающимся от (6). Например, при шаровом светящем теле угловые размеры ЭО в меридиональной и сагиттальной плоскостях равны и определяются по формуле

$$\xi = \xi_n = \arcsin d/2r'. \quad (10)$$

Для проверки предложенной методики были проведены расчетные и экспериментальные исследования кривых силы света параболоидной зоны ( $f=35$  мм,  $\Phi_{cr}=76^\circ$ ,  $\Delta\varphi=16^\circ$ ) с нитевым светящим телом ( $d=0,2$  мм,  $l=10$  мм) при разных расфокусировках  $s$ . Удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных кривых силы света (на рис. 3 приведены экспериментальная и расчетная кривые силы света зоны при рас-

Рис. 3. Горизонтальные кривые силы света параболоидной зеркальной зоны с нитевым светящим телом, расфокусированном в горизонтальной плоскости.  
1 — экспериментальная; 2 — расчетная.



усл.ед.

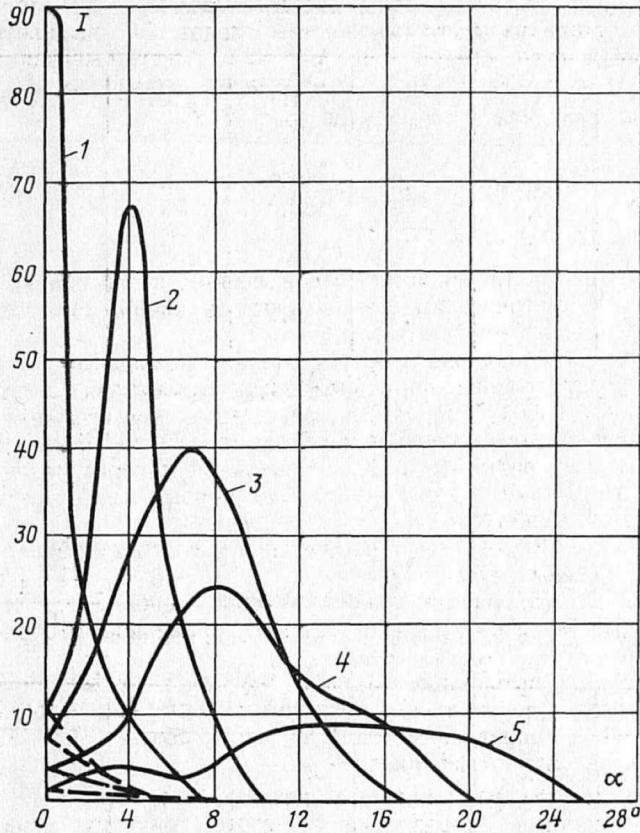


Рис. 4. Расчетные горизонтальные кривые силы света параболоидного отражателя с поперечной расфокусировкой светящим телом.

1 —  $s=0$ ; 2 —  $s=4$  мм; 3 —  $s=8$  мм; 4 —  $s=10$  мм; 5 —  $s=14$  мм  
— при  $\alpha < 0$ .

фокусировке 13 мм) позволяет сделать вывод о достаточной точности предлагаемого метода расчета.

По разработанной методике были выполнены расчетные исследования кривых силы света параболоид-

ных отражателей с поперечно расфокусированным нитевым светящим телом. На рис. 4, например, приведены кривые силы света параболоидного отражателя ( $f=35,5$  мм,  $\Phi_{\text{об}}=105^\circ$ ) с нитевым светящим телом ( $d=1,6$  мм,  $l=12,4$  мм), построенные в плоскости расфокусировки светящего тела. Здесь для упрощения построений кривых силы света на ЦВМ «Наири-К» были рассчитаны зависимости  $\Delta\alpha=f(r/s, \varphi, \psi)$ ,  $\vartheta=f(r/s, \varphi, \psi)$  и  $\gamma=f(\varphi, \psi)$  для широкого диапазона значений  $r/s$  и угла  $\varphi$ .

**Выводы.** 1. При поперечной расфокусировке све-

тишего тела световой пучок параболоидного отражателя становится несимметричным. При этом направление максимальной силы света смещается от оси в сторону, обратную расфокусировке; значение максимальной силы света уменьшается.

2. Варьируя значение поперечной расфокусировки и размеры светящего тела, можно при круглосимметричном параболоидном отражателе получать веерообразный световой пучок с заданными значениями углов излучения.

3. При практических расчетах кривых силы света параболоидных отражателей с поперечно расфокусированным светящим телом можно пренебречь: 1) поворотом следов ЭО — считать, что следы ЭО лежат в плоскостях, параллельных соответствующим меридиональным плоскостям; 2) изменением размеров ЭО в пределах зоны. Эти допущения существенно упрощают практические расчеты.

#### Список литературы

1. Калякин Н. А. Световые приборы прожекторного и проекционного типов. М., «Высшая школа», 1966. 412 с.
2. Трембач В. В. Световые приборы. М., «Высшая школа», 1972. 496 с.
3. Oberst L., Iakobovits A. Paraboloid türkők vizsgálata a gyujtópontról tengely mentén kihelyezett fenyfoorásoknal. — «Villamoság», 1975, v. 23, № 3, p. 75–79.

Г.-9, 27  
Р.-909

УДК 628.947:620.1

## ФОРСИРОВАННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ОТРАЖАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ С ЛАМПАМИ НАКАЛИВАНИЯ И ДРЛ

Канд. техн. наук Ю. Б. Айзенберг, инж. И. И. Несторович

Всесоюзный светотехнический институт, производственное объединение «Ватра»

Special works have resulted in the development and checking of an accelerated test method for the reflective coatings of industrial luminaires using filament and mercury lamps. The method permits the evaluation of the reflector life under normal and severe environmental conditions in machine-building and metallurgical enterprises.

\* \* \*

Необходимость форсированных испытаний светильников вызвана большой продолжительностью испытаний изделий в условиях эксплуатации (не менее 1,5–2 лет), что приводит к значительным осложнениям при их разработке и запуске в серийное производство [Л. 1–5]. В настоящее время нет методов форсированных испытаний светильников ни в рекомендациях МЭК, СЕЕ, СЭВ, ни в ГОСТ 15597-70 и ГОСТ 16677-72. Предусмотренные стандартами испытания светильников на протяжении 500 ч не позволяют делать обоснованных выводов о сроке службы изделий и пригодности

конструкции для надежной работы в определенных условиях среды. Вместе с тем важность форсированных испытаний светильников не вызывает сомнения. При этом, в первую очередь, необходимо разработать методы испытаний оптических элементов, срок службы которых в основном определяет [Л. 6] срок службы светильников в целом. Для промышленных светильников особую важность представляют методы форсированных испытаний отражающих покрытий, широко встречающихся в конструкциях.

Результаты форсированных испытаний будут адекватны результатам испытаний в условиях эксплуатации, естественно, лишь тогда, когда будет сохранен принцип подобия физической картины отказа, т. е. когда вид и характер разрушения (старения, износа и т. п.) в обоих случаях будут идентичны.

Известно [Л. 6–8], что на изменение светотехнических характеристик светильников в процессе эксплуатации существенно влияет характер загрязненности воз-