

# Расчет формы отражателя с микроволновой серной лампой на входе призматического световода

Э.М. ГУТЦАЙТ, В.И. РЫЧКОВ  
МЭИ\*

Микроволновые серные лампы относятся к 3-му поколению безэлектродных источников света, созданных в последнем десятилетии XX века [1–13].

Конструктивные особенности осветительных устройств с микроволновыми газоразрядными лампами и протяженными призматическими световодами рассмотрены в [2, 12]. Серная лампа, представляющая собой сферическую кварцевую колбу диаметром около 3 см, обычно располагается вблизи фокуса квазипараболического отражателя\*\*, показанного на рис. 1. Перед лампой 1 находится дихроичный рефлектор 2 в виде светоотражающего диска на кварцевой основе, который пропускает СВЧ мощность ( $P_{\text{СВЧ}}$ ), поступающую от магнетрона. Диаметр рефлектора 2 близок к диаметру горловины отражателя 3 и к диаметру сетчатого СВЧ экрана 4 ( $D_3$ ). Поверхность отражателя 3 плавно переходит в цилиндрический световод 6 диаметром  $D_{\text{СВ}}$ .

В [15] показано, что для обеспечения полного внутреннего отражения света при использовании в световоде призматической пленки из полиметилметакрилата угол падения светового луча по отношению к оси световода не должен превышать  $27,6^\circ$ . Поскольку лампа, строго говоря, не является точечным источником света, ее следует располагать так, чтобы центр сферической колбы был смещен относительно фокальной точки приблизительно на радиус лампы к горловине отражателя, как показано на рис. 1. При этом световые лучи 7, выходящие из точек с коор-

динатами по оси абсцисс  $X \leq f$ , будут пересекать ее после отражения под углами, не превышающими  $\theta$ .

Необходимая форма отражателя, как видно из рис. 2, может быть получена путем поворота параболического профиля 1 на угол  $\theta$  вокруг фокальной точки  $f$  до положения 2 (точка М переходит в точку Б). Рассматриваемое преобразование соответствует повороту осей координат с соответствующим сдвигом начала осей и может быть представлено следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned} X &= X_0 + X^1 \cos\theta + 2\sqrt{fX^1} \sin\theta, \\ Y &= Y_0 - X^1 \sin\theta + 2\sqrt{fX^1} \cos\theta, \\ X_0 &= f(1 - \cos\theta), \\ Y_0 &= f \sin\theta. \end{aligned} \quad (1)$$

Вместо (1) можно выразить уравнение повернутой параболы через полярные координаты  $\varphi$  и  $r$ :

$$\begin{aligned} X &= f + r \cos(\varphi - \theta) \text{ и} \\ Y &= r \sin(\varphi - \theta) \end{aligned} \quad (2)$$

где

$$r = \frac{f}{\sin^2 \frac{\varphi}{2}}.$$

Угол поворота  $\theta$  однозначно связан со значениями диаметра световода  $D_{\text{СВ}}$  и осевой координатой апертуры  $X_{\text{ВЫХ}}$ , где отражатель плавно переходит в световод. Через  $X_M$  на рис. 2 обозначена координата апертуры исходного параболоида в точке М, где угол наклона параболы  $Y = 2\sqrt{fX}$  снижается до значения, равного  $\theta$ . Таким образом, используя производную  $(dY/dX)_M =$

$$\begin{aligned} &= \sqrt{\frac{f}{X_M}} = \text{tg}\theta, \text{ получаем} \\ X_M &= \frac{f}{\text{tg}^2\theta}. \end{aligned} \quad (3)$$

Используя равенства  $Y_{\text{ВЫХ}} = Y_B = \frac{D_{\text{СВ}}}{2}$

и  $\varphi_M = 2\theta$  (см. рис. 2), с помощью (2) или (3) нетрудно выразить фокусное расстояние через диаметр световода и угол поворота:

$$f = \frac{D_{\text{СВ}}}{2} \sin\theta. \quad (4)$$

Выходная координата отражателя определяется выражением

$$X_{\text{ВЫХ}} = f + \frac{D_{\text{СВ}}}{2 \text{tg}\theta} = \frac{D_{\text{СВ}}}{2} (\sin\theta + \text{ctg}\theta). \quad (5)$$

Далее, приравнявая  $Y_{\text{ВХ}} = Y_A = \frac{D_3}{2}$  (в точке А), из системы уравнений (1) или (2) получаем координату  $X_{\text{ВХ}}$ , после чего определяем глубину отражателя

$$L_0 = X_{\text{ВЫХ}} - X_{\text{ВХ}} \quad (6)$$

и расстояние между серной лампой и дихроичным рефлектором в виде

$$\delta = f - D_{\text{Л}} - X_{\text{ВХ}}. \quad (7)$$

Заметим, что условие  $\delta = 0$  определяет минимальное значение угла поворота  $\theta_{\text{МИН}}$ , поскольку согласно (4) с уменьшением угла  $\theta$  следует уменьшать фокусное расстояние.

Рассмотрим теперь, как следует выбирать размеры СВЧ экрана и участок, где должна располагаться серная лампа. Сетчатый экран представим в виде короткозамкнутого волновода с волной  $H_{11}$  (см., например, [16]). Для облегчения зажигания разряда серную лампу желательно расположить в пучности напряженности электрического поля, т. е. на расстоянии в четверть волноводной длины волны от торцевой стенки экрана. Реальный диаметр экрана  $D_3 = 79$  мм [12] близок к критическому, т. к. диаметр экрана связан с критической длиной волны соотношением  $\lambda_{\text{КР}} = 1,7D_3$ , т. е.  $\lambda_{\text{КР}} = 135$  мм, а длина волны магнетронного генератора на частоте 2,45 ГГц  $\lambda_{\text{Г}} = 122$  мм.

При приближении диаметра экрана к критическому значению волноводная длина волны  $\lambda_{\text{В}}$  оказывается в несколько раз больше длины волны генератора  $\lambda_{\text{Г}}$  и соответственно необходимо увеличивать расстояние между лампой и торцевой стенкой экрана. В целях уменьшения длины экрана лампу можно расположить на расстоянии  $\lambda_{\text{В}}/5$  от торцевой стенки сетчатого экрана. В этом случае лампа окажется в электрическом поле, напряженность

\* 105568, Москва, Красноказарменная, 14.  
\*\* Аналогичный отражатель в [14] назван "параболоторическим фоконом", а в [12] — "compound parabolic reflector". Заметим, что рассматриваемый отражатель несколько отличается от параболоторического фокона и не обладает всеми свойствами последнего, поскольку фокальная точка лежит на оси отражателя, а не на диаметре входного отверстия.

Расчетные значения параметров отражателей

№	$D_{св}$	$D_{л}$	$D_3$	$\theta$	$f$	$\delta$	$X_{вх}$	$L_0$	$L_3$	$w$	Рис.
1	400	35	79	150	52	4	12,7	785	98,7	687	—
2	400	35	79	270	90,8	45	10,8	472	140	333	3в
3	250	28	79	220	47	3	16	340	90,5	250	3а
4	250	28	79	270	57	14	14,5	288	102	186	3б
5	212	28	79	270	48	3,2	16,8	240	91	149	—
6	150	10	75	270	34	3	21,2	160	101	59	3г
7	135	5	75	27,60	31	3	23,5	137	95,6	41	—

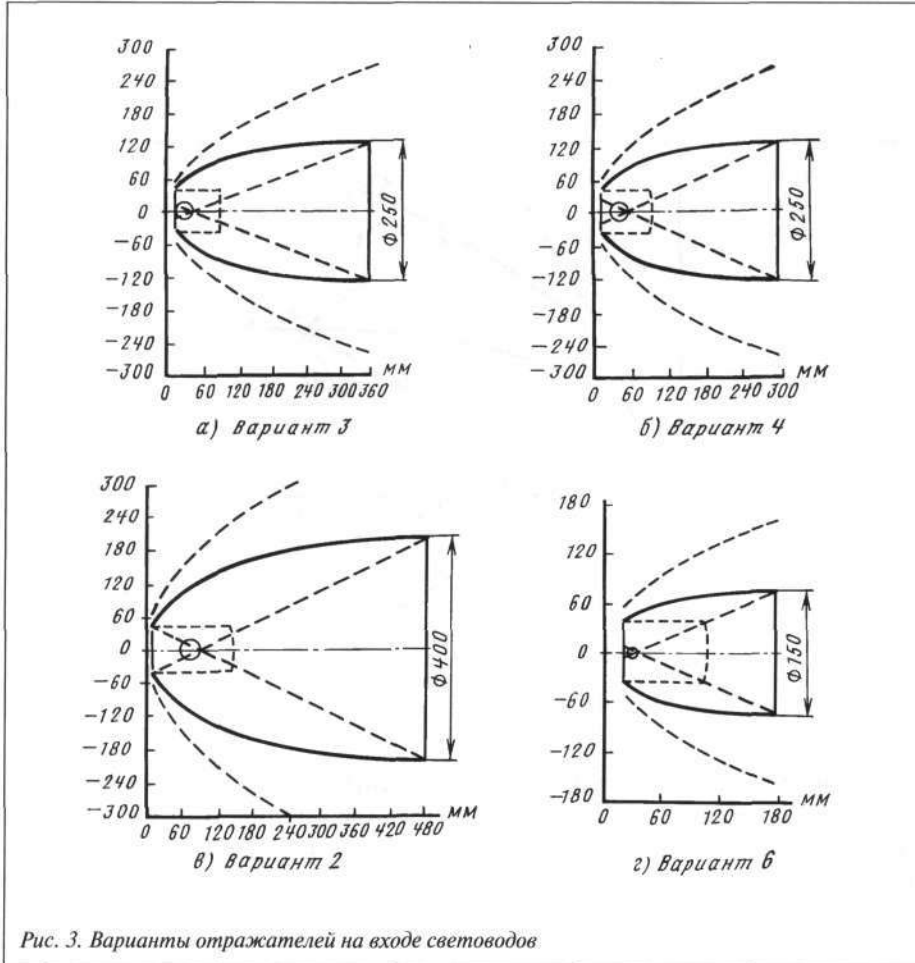


Рис. 3. Варианты отражателей на входе световодов

ровки света в протяженном световоде нужно выбрать угол  $\theta$ , близкий к минимальному.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dolan J.T., Ury M.G., Wood C.H. A Novel High Efficacy Microwave Powered Light Source // In: Sixth International Symposium on the Science and Technology of Light Sources. Technical University of Budapest Publisher. 1992. P. 301-302.
2. Fusion Visible Lamp Technology/ Fusion Systems Corporation. 1993 (Rev.H). 11 p.
3. Dolan J.T., Ury M.G., Wood C.H. Lamp including sulfur/ US Patent № 5404076. 1995.

4. J.E. Simpson, W.G. Love. Electrodeless Lamp using separate microwave energy resonance modes for ignition and operation / US Patent № 5786667. 1998.

5. Айзенберг Ю.Б. Некоторые достижения современной светотехнической науки // Светотехника. 1995, № 4—5. С. 34—37.

6. Рохлин Г.Н. О характеристиках новых безэлектродных микроволновых серных ламп // Светотехника. 1997, № 4. С. 19—23.

7. Die Schwefeldampf Lampe-Kunstlicht der Zukunft / De Lainsecq Margrit // Technica (Suisse). 1997. 46, № 17. S. 38—40.

8. Билунд Л. Новая осветительная техника с микроволновыми серными плазмен-

ными лампами// Светотехника. 1998, № 3. С.13—17.

9. Диденко А.Н., Виноградов Е.А., Ляхов Г.А., Шипилов К.Ф. Высокоэффективный безэлектродный источник света с квазисолнечным спектром на основе тлеющего СВЧ разряда // Докл. РАН. 1995. Т. 334. № 2. С. 182—183.

10. Шлифер Э.Д. Некоторые особенности и проблемы создания осветительных и облучательных устройств на базе безэлектродных газоразрядных ламп с СВЧ-накачкой// Светотехника. 1999, № 1. С. 6—9.

11. Шлифер Э.Д. Безэлектродные сверхвысокочастотные газоразрядные лампы. Новости светотехники. Выпуск 14. Под редакцией Ю.Б.Айзенберга / М.: Дом Света, 1999. 24 с.

12. Florentine F.A., Anderson L., MakLennan D., Whitehead L.A. Lighting High Bay Areas with Electrodeless Lamps // Journal of the Illuminating Engineering Society. — Winter 1997. P. 27-34.

13. Reflecting on new developments // Elec. Times. 1998. Apr, Reader enquire no: 101.

14. Баранов В.К. Свойства параболических фоконов // Оптико-механическая промышленность. 1965, № 6. С. 1—5.

15. Айзенберг Ю.Б., Коробко А.А. Полые световоды на основе призматической пленки полного внутреннего отражения // Светотехника. 1994, № 4. С.4—8.

16. Гутцайт Э.М. Техника и приборы сверхвысоких частот / М. — "Радио и связь". 1994. 225 с.



**Гутцайт Эдуард Михайлович,**  
доктор технических наук. Окончил Московский энергетический институт в 1954 г., доцент кафедры светотехники МЭИ



**Рыков Владимир Иванович,**  
кандидат технических наук. Окончил Московский энергетический институт в 1963 г., доцент кафедры светотехники МЭИ