

вом режиме происходит довольно плавно и с заметно меньшими вибрациями. При использовании драйверов с такими режимами различие выходного сигнала при пропуске шагов и при нормальном вращении может быть заметно больше (особенно для работы при малом дроблении шага).

**Вывод.** Использование пьезоэлектрического преобразователя с шаговым двигателем позволяет

получить выходной сигнал, с помощью которого возможно определить пропуск шагов двигателем.

Дальнейший интерес представляет исследование работы схем обработки с таким сигналом и определение возможности детектирования одиночных шагов при вращении и их подсчета, исследование зависимости выходного сигнала от механической жесткости системы.

УДК 628.941

## ПРИМЕНЕНИЕ ГИПЕРБОЛИЧЕСКИХ ОТРАЖАТЕЛЕЙ В СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКАХ СВЕТА

Богдан П.С., Зайцева Е.Г., Баранов П.О., Степаненко А.И.

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Проанализированы перспективы применения гиперболических отражателей для увеличения углового размера светового пучка в светодиодных светильниках. Показано, что за счет увеличения длины хода светового пучка в этом случае уменьшается освещенность плоскости.

**Ключевые слова:** светодиодный источник света, гиперболический отражатель, распределение освещенности.

## APPLICATION OF HYPERBOLIC REFLECTORS IN LED LIGHT SOURCES

Bogdan P., Zaytseva E., Baranov P., Stepanenko A.

*Belarusian National Technical University  
Minsk, Republic of Belarus*

**Abstract.** The prospects of using hyperbolic reflectors to increase the angular size of the light beam in LED lamps are analyzed. It is shown that by increasing the travel length of the light beam in this case, the illumination of the plane decreases.

**Key words:** LED light source, hyperbolic reflector, illumination distribution.

*Адрес для переписки: Богдан П.С., пр. Независимости, 65, Минск 220113, Республика Беларусь  
e-mail: pbogdan@bntu.by*

Широкое использование светодиодных источников света ограничивается малым угловым размером светового пучка. Компенсировать этот недостаток возможно, используя в осветительном приборе дополнительные оптические элементы (линзы, отражатели [1–3]) и рассеивающие фильтры [4]. Выбор оптимального варианта до сих пор остается актуальной задачей. Цель данного исследования – проанализировать, как введение в светодиодный светильник дополнительных отражающих элементов влияет на распределение освещенности. В качестве отражателя был выбран один из элементов двуполостного гиперboloида вращения, в фокусе которого располагался светодиод. Расчет распределения освещенности производился для двух вариантов, когда отражающий слой находился как на вогнутой, так и на выпуклой поверхности гиперboloида.

Схема для расчета распределения освещенности плоскости при отражении светодиодного луча от гиперboloида с внутренним зеркальным слоем представлена на рис. 1. Луч, выходящий из точки  $F$  расположения светодиода под углом  $\alpha$ , отражается от внутренней поверхности верхней части

двуполостного гиперboloида в точке  $R$  и падает на освещаемую плоскость  $EQ$  под углом  $\beta$ .

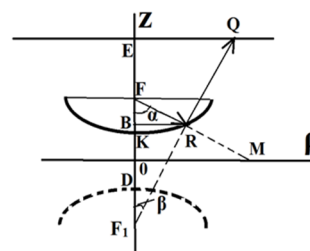


Рисунок 1 – Схема для расчета распределения освещенности плоскости при отражении светодиодного луча от гиперboloида с внутренним зеркальным слоем

Распределение освещенности на освещаемой плоскости  $EQ$  в функции угла  $\alpha$  направления луча индикатрисы силы света светодиода и угла наклона  $\beta$  луча к перпендикуляру к освещаемой плоскости имеет вид:

$$E(\alpha, \beta) = \frac{I(\alpha) \cos \beta}{l^2}, \quad (1)$$

где  $I(\alpha)$  – зависимость силы света от угла наклона луча к оси симметрии индикатрисы;

$l$  – общая длина хода светового луча от светодиода до освещаемой поверхности.

Уравнение двуполостного гиперboloида вращения имеет вид:

$$\frac{\rho^2}{a^2} - \frac{z^2}{c^2} = -1, \quad (2)$$

из свойств гиперboloида следует

$$FF_1 = 2\sqrt{a^2 + c^2}, \quad (3)$$

где  $F$  и  $F_1$  – фокусы гиперboloида.

Перейдем от распределения освещенности в функции углов  $\alpha$  и  $\beta$  луча к распределению в функции координат  $x_Q$  и  $y_Q$  освещаемой поверхности. Эти координаты связаны с полярной координатой  $\rho_Q$  в освещаемой плоскости выражением:

$$\rho_Q = \sqrt{x_Q^2 + y_Q^2}. \quad (4)$$

Чтобы получить распределение освещенности в функции углов  $\alpha$  и  $\beta$ , необходимо выразить эти углы через координату  $\rho_Q$  и подставить полученные зависимости в формулу (1).

С учетом геометрических соотношений в треугольниках  $F_1EQ$  и  $F_1BR$  и уравнений гиперboloида (2) и (3)

$$\beta = \arctan \frac{\rho_Q}{r + 2\sqrt{a^2 + c^2}}, \quad (5)$$

$$\alpha = \arctan \frac{\frac{a}{c} \sqrt{z_R^2 - c^2}}{-z_R + \sqrt{a^2 + c^2}}, \quad (6)$$

где  $r$  – расстояние между светодиодом, расположенным фокусе гиперboloида  $F$ , и освещаемой плоскостью  $EQ$ , а связь между  $z_R$  и  $\rho_Q$  определяется решением уравнения

$$\frac{\rho_Q}{\frac{a}{c} \sqrt{z_R^2 - c^2}} = \frac{r + 2\sqrt{a^2 + c^2}}{\sqrt{a^2 + c^2} + z_R}. \quad (7)$$

Общая длина хода светового луча от светодиода до освещаемой поверхности  $l$  определяется выражением:

$$l = \frac{\rho_R}{\sin \alpha} + \frac{r + \sqrt{a^2 + c^2} - z_R}{\cos \beta}. \quad (8)$$

С использованием полученных выражений и с учетом экранирования части отраженного потока корпусом светодиода были произведены расчеты распределения освещенности на плоскости для расстояния 50 см до освещаемой поверхности и нескольких вариантов параметров гиперboloида  $a$  и  $c$ : 10 и 5; 10 и 10; 5 и 10 мм. Расчеты показали, что при постоянном расстоянии до освещаемой плоскости размер светового пятна и неравномерность освещенности увеличиваются, если параметр  $a$  превышает параметр  $c$ . Для сравнения с освещенностью, создаваемой светодиодом без отражателя, по методике, приведенной в [5], были

произведены соответствующие расчеты для расстояния 50 см до освещаемой поверхности. Графики распределения освещенности без отражателя и с отражателем при  $a$  и  $c$ , равных 10 и 5 мм, приведены на рис. 2 соответственно красным и зеленым цветом.

Анализ графиков показывает, что применение гиперboloидного отражателя при размещении светодиода в его фокусе не увеличило размер светового пятна и уменьшило освещенность в центре. Полученный результат объясняется превалирующим влиянием на освещенность длины хода лучей  $l$ , которая входит во второй степени в формулу (1). При наличии отражателя длина хода лучей от светодиода до освещаемой плоскости увеличивается, и это увеличение нивелирует полезный эффект от перераспределения светового пучка гиперboloическим отражателем.

Применение в качестве отражателя выпуклой поверхности гиперboloида дополнительно увеличивает ход светового луча и соответственно уменьшает значения освещенности.

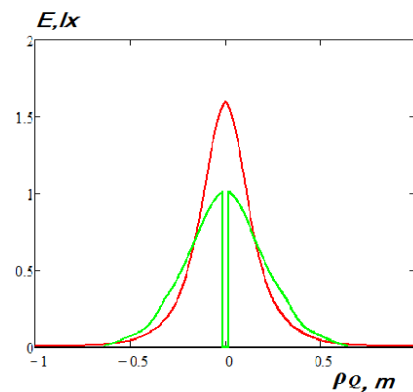


Рисунок 2 – Графики распределения освещенности без отражателя (зеленый цвет) и с отражателем при  $a$  и  $c$ , равных 10 и 5 мм (красный цвет)

Из вышеизложенного следует, что дополнительные оптические элементы не должны увеличивать длину хода светового луча, поэтому линзовые элементы являются более перспективными, чем отражатели.

#### Литература

1. Шэнь, Д. Коллиматорные линзы Edison Opto / Д. Шэнь // Полупроводниковая светотехника. – 2013. – №1 (21). – С. 20–21.
2. Вертли, Й. Линзы с настраиваемым фокусом для светодиодов / Й. Вертли // Полупроводниковая светотехника. – 2013. – №1 (21). – С. 22–23.
3. Трофимов, П. Рефлекторы и гибридные линзы от Ledlink Optics / П. Трофимов, О. Голиков // Полупроводниковая светотехника. – 2013. – №1 (21). – С. 24–25.
4. Шаракшанэ, А. Об эффективности матовых светорассеивателей / А. Шаракшанэ // Полупроводниковая светотехника. – 2014. – № 1 (27). – С. 8–11.
5. Analysis of illumination generated by LED matrices distribution / P. S. Bogdan [et al.] // Devices and Methods of Measurements. – 2022. – Vol. 13, № 1. – P. 60–67.