

Метод расчёта двух преломляющих поверхностей свободной формы для протяжённых источников излучения

С.В. Кравченко¹, Е.В. Бызов¹, Л.Л. Досколович^{1,2}

¹Институт систем обработки изображений РАН - филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Молодогвардейская 151, Самара, Россия, 443001

²Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34а, Самара, Россия, 443086

Аннотация

Представлен метод расчёта оптического элемента с двумя поверхностями свободной формы для создания распределений освещённости при протяжённом источнике излучения. Рассчитан компактный элемент (отношение высоты элемента к размеру источника 1,6), формирующий распределение освещённости в квадратной области угловым размером 60° . Эффективность решения 89,6% при ОСКО 8%.

Ключевые слова

Поверхность свободной формы, протяжённый источник излучения, светодиод

1. Введение

В современных системах освещения широко используются светоизлучающие диоды (СИД). Для формирования заданных световых распределений в этих системах должна применяться вторичная оптика – преломляющие или отражающие оптические элементы, устанавливаемые непосредственно над светодиодом и обеспечивающий формирование требуемого светового распределения. Одним из наиболее популярных типов СИД, используемых в системах уличного и промышленного освещения, являются «маломощные» светодиоды. Это связано с их низкой стоимостью и высокой световой отдачей. При производстве устройств на основе таких СИД производители стараются обеспечить наиболее близкое расположение источников друг к другу и зачастую сталкиваются с отсутствием вторичной оптики, которая была бы в соответствующей степени компактной и обеспечивала бы высокие световые характеристики. В таких задачах источник не может рассматриваться как точечный, поэтому для расчёта эффективных и компактных оптических элементов применение методов, основанных на приближении точечного источника, невозможно [1-2].

В настоящей работе предлагается метод прямой оптимизации для решения задачи расчёта двух преломляющих поверхностей оптического элемента из условия формирования заданного распределения освещённости при протяжённом источнике излучения. С помощью разработанного метода рассчитан компактный оптический элемент, формирующий равномерное распределение освещённости в квадратной области с угловым размером 60° при протяжённом ламбертовском источнике размером 1×1 мм². Отношение высоты элемента к размеру источника составляет 1,6. Световая эффективность оптического элемента равна 89,1%, а равномерность формируемого распределения составляет 0,92.

Рассмотрим преломляющий оптический элемент с показателем преломления n , ограниченный двумя поверхностями свободной формы (Рисунок 1). В начале координат расположен протяжённый источник света с заданной функцией яркости. Внутреннюю поверхность определим функцией радиус-вектора $\mathbf{R}(\varphi, \psi)$. В таком случае внешнюю зададим функцией $l(\varphi, \psi)$, определяющей расстояние от точки внутренней поверхности до точки $\mathbf{M}(\varphi, \psi)$ внешней поверхности вдоль луча, вышедшего из источника и преломленного в точке $\mathbf{R}(\varphi, \psi)$. Так, задача расчёта оптического элемента сводится к нахождению скалярных функций $R(\varphi, \psi)$ и $l(\varphi, \psi)$ из условия формирования в плоскости $z=f$ требуемого распределения освещённости.

Для расчёта начального приближения предлагается использовать ранее предложенный авторами подход из работы [3]. Для формирования требуемого распределения освещённости необходимо выполнить оптимизацию параметров начальных поверхностей, описываемых сплайнами. Параметрами сплайнов являются значения функций, определяющих внутреннюю и внешнюю поверхности, их первые производные по углам φ и ψ , а также смешанная производная по φ и ψ . В качестве функции ошибки выбрано относительное среднеквадратичное отклонение (ОСКО) формируемого распределения от заданного. Минимизация функции ошибки выполняется градиентным методом.

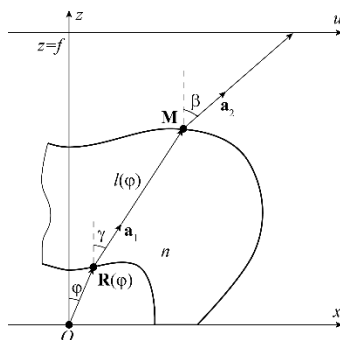


Рисунок 1: Геометрия задачи

Был рассчитан оптический элемент, формирующий распределение освещённости в квадратной области угловым размером 60° , показатель преломления материала – $n=1,49$. Источник – ламбертовский, размером $1 \times 1 \text{ мм}^2$. Сечения оптического элемента (в плоскостях $\varphi=0^\circ$ и $\varphi=45^\circ$) в сравнении с источником излучения а также формируемое распределение представлены на Рисунке 2. Соотношение высоты оптического элемента к размеру светодиода составило 1,6, что говорит о высокой степени компактности рассчитанной оптической системы.

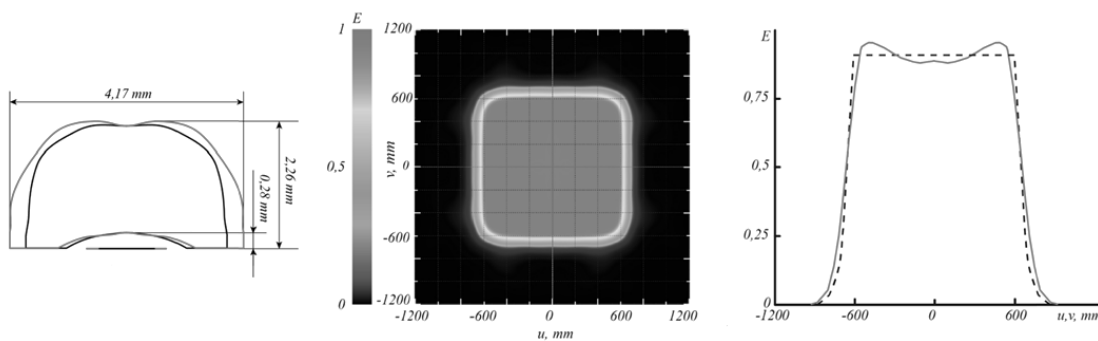


Рисунок 2: Сечения оптического элемента и формируемое им распределение освещённости

Таким образом, разработанный метод позволяет рассчитывать компактные (отношение высоты элемента к размеру светодиода 1,6) оптические элементы с двумя поверхностями свободной формы. Оптический элемент, рассчитанный в качестве примера, обладает высокими рабочими характеристиками: световая эффективность более 89% при ОСКО менее 8%.

2. Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 18-19-00326).

3. Литература

- [1] Yadav, N.K. Computation of double freeform optical surfaces using a Monge–Ampère solver: Application to beam shaping / N.K. Yadav, J.H.M. ten Thije Boonkkamp, W.L. Ijzerman // Opt. Commun. – 2019. – Vol. 439. – P. 251-259. DOI: 10.1016/j.optcom.2019.01.069.
- [2] Wu, R. Formulating the design of two freeform lens surfaces for point-like light sources / R. Wu, S. Chang, Z. Zheng, L. Zhao, X. Liu // Opt. Lett. – 2018. – Vol. 43(7). – P. 1619-1622. DOI: 10.1364/OL.43.001619.
- [3] Кравченко, С.В. Расчёт преломляющих оптических элементов с двумя рабочими поверхностями для формирования заданных распределений освещённости / С.В. Кравченко, М.А. Моисеев, Л.Л. Досколович // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, № 3. – С. 435-442. DOI: 10.18287/0134-2452-2014-38-3-435-442.