

РАСЧЁТ ОТРАЖАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ, ФОКУСИРУЮЩЕЙ ИЗЛУЧЕНИЕ В ПРОИЗВОЛЬНУЮ КРИВУЮ В ПРОСТРАНСТВЕ

Борисова К.В., Моисеев М.А., Досколович Л.Л., Андреев Е.С.

Институт систем обработки изображений РАН,

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет) (СГАУ)

Аннотация

Предложен численно-аналитический подход к расчёту отражающей поверхности, формирующей заданное распределение освещённости на произвольной кривой в пространстве. Решение задачи включает в себя два этапа: расчёт функции эйконала на кривой и последующее восстановление отражающей поверхности по полученной функции эйконала. Рассчитана отражающая поверхность, формирующая спираль, и модуль системы подсветки дисплеев, включающий отражающую поверхность, фокусирующую в отрезок. Результаты моделирования продемонстрировали хорошую работоспособность метода. Световая эффективность системы подсветки составляет 86,5 %, а равномерность — 93 %.

Ключевые слова: геометрическая оптика, отражающая поверхность, светодиодная оптика, фокусировка в кривую, система подсветки.

Введение

Задача фокусировки излучения в пространственную кривую заданной формы возникает при расчёте лазерных и светотехнических систем различного назначения. Расчёт оптических элементов для фокусировки в кривую сводится к нахождению вида отражающих или преломляющих поверхностей из условия формирования заданного распределения освещённости вдоль кривой. В настоящее время разработан ряд методов расчёта таких оптических элементов для различных частных случаев [1–12].

В работах [1–5] были получены общие аналитические представления для отражающих и преломляющих оптических поверхностей, формирующих диаграмму направленности в виде линии или фокусирующих в линию заданной формы при точечном источнике излучения. При формировании диаграммы направленности отражающая поверхность представляется в виде огибающей однопараметрического семейства параболоидов вращения, а преломляющая поверхность — в виде огибающей семейства эллипсоидов или гиперболоидов вращения. При фокусировке в линию отражающая и преломляющая поверхности представляются в виде огибающих однопараметрических семейств эллипсоидов и картезианских овалов соответственно.

Вследствие высокой сложности рассматриваемой задачи, законченные аналитические решения были получены только для случаев формирования простых кривых в виде отрезка и дуги окружности [5–12]. При этом в [5–12] не рассмотрена важная частная задача расчёта зеркала для фокусировки в отрезок в «ближней зоне» (на малом расстоянии от оптического элемента).

В общем случае решение задачи фокусировки в пространственную кривую со сложной формой по-прежнему является актуальным. Следует отметить, что в настоящее время не исследованы вопросы существования гладких решений задачи фокусировки в линию сложной формы. Ряд теоретических вопросов, связанных со сравнительно простой задачей расчёта

эйконала светового поля из условия фокусировки в линию, рассмотрен в работах [13, 14], причём только в параксиальном приближении. При этом возможность построения гладкого решения накладывает существенные ограничения на кривизну и угловой размер кривой фокусировки. В частности, гладкая функция эйконала существует только при фокусировке в дугу с угловым размером менее 90° [13].

В настоящей работе предложен простой численно-аналитический подход к расчёту отражающих поверхностей, формирующих линии заданной формы. Предлагаемый подход основан на использовании итерационного метода решения задачи фокусировки в набор точек на кривой с последующим построением непрерывной функции эйконала на кривой и восстановлением поверхности зеркала на основе аналитических соотношений. С помощью предложенного подхода в качестве примера были рассчитаны отражающий оптический элемент, фокусирующий излучение источника в спираль, и оптический элемент для системы подсветки дисплеев, формирующий равномерно освещённый отрезок в плоскости источника.

1. Расчёт отражающей поверхности

Рассмотрим задачу расчёта отражающей поверхности (рис. 1), фокусирующей излучение от точечного источника света, расположенного в начале декартовой системы координат, в произвольную кривую с заданным на ней распределением освещённости. Пусть кривая задана параметрическим уравнением $\mathbf{X} = (X(\xi), Y(\xi), Z(\xi))$ с параметром $\xi \in [0, L]$. Отражающую поверхность будем искать в виде огибающей однопараметрического семейства эллипсоидов, зависящих от ξ [2, 3].

Рассматриваемый в работе подход к расчёту поверхности включает в себя два этапа: расчёт непрерывной функции эйконала светового поля на кривой и последующее восстановление отражающей поверхности по функции эйконала.

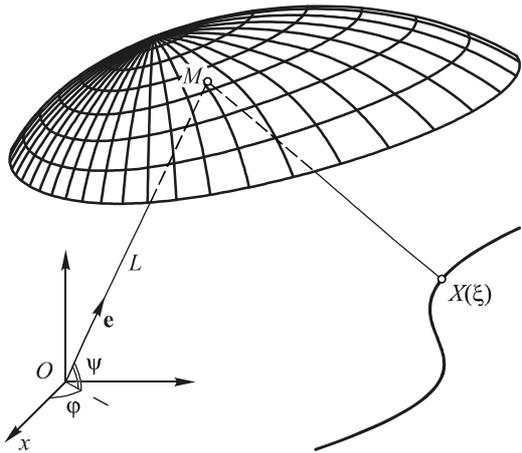


Рис. 1. Взаимное расположение отражающей поверхности, источника света и кривой в пространстве

Для расчёта функции эйконала на кривой предлагается использовать метод «согласованных параблоидов», предназначенный для расчёта зеркал и преломляющих поверхностей свободной формы, формирующих дискретные распределения освещённости в виде набора точек [15–18]. Детальное описание метода для задачи расчёта непрерывной, кусочно-гладкой отражающей поверхности, фокусирующей в набор точек, приведено в работе [16]. При этом отражающая поверхность представляет собой набор сегментов эллипсоидов вращения, у которых первый фокус совпадает с точечным источником, а второй фокус находится в одной из точек в выходной плоскости. Расчёт параметров эллипсоидов (длин больших осей) осуществляется итерационным методом из условия формирования заданной освещённости в точках фокусировки, при этом сходимость метода строго доказана [16]. Отметим, что длины больших осей эллипсоидов соответствуют значениям эйконала светового поля в точках фокусировки.

В случае фокусировки в произвольную пространственную кривую необходимо аппроксимировать её дискретным набором точек, а затем вычислить параметры эллипсоидов (значения эйконала в точках кривой) с помощью метода [16]. На основе полученных дискретных значений эйконала с помощью интерполяции можно получить непрерывное распределение эйконала на кривой.

Рассмотрим далее процедуру построения отражающей поверхности по функции эйконала на кривой. Воспользуемся принципом Ферма и запишем выражение для оптической длины пути луча от источника до точки $\mathbf{X}(\xi)$ на кривой (рис. 1):

$$|\mathbf{M}| + |\mathbf{X}(\xi) - \mathbf{M}| = \Psi(\xi), \tag{1}$$

где $\Psi(\xi)$ – рассчитанное распределение эйконала светового поля на кривой, а \mathbf{M} – радиус-вектор отражающей поверхности, определяющийся в сферической системе координат следующим выражением:

$$\mathbf{M} = \mathbf{e}(\varphi, \psi)L(\varphi, \psi; \xi), \tag{2}$$

где $L(\varphi, \psi; \xi)$ – длина радиус-вектора, а $\mathbf{e}(\varphi, \psi)$ – единичный вектор, соответствующий углам φ, ψ . Подста-

вим выражение (2) в (1) и выразим в явном виде функцию $L(\varphi, \psi; \xi)$:

$$L(\varphi, \psi; \xi) = \frac{\mathbf{X}^2(\xi) - \Psi^2(\xi)}{2[(\mathbf{X}(\xi), \mathbf{e}(\varphi, \psi)) - \Psi(\xi)]}. \tag{3}$$

Как отмечалось выше, решением поставленной задачи является огибающая однопараметрического семейства поверхностей $\mathbf{M}(\varphi, \psi; \xi)$. Уравнение огибающей поверхности определяется уравнением (3) и условием равенства нулю смешанного произведения векторов [2, 3]:

$$([\mathbf{M}_\varphi, \mathbf{M}_\psi, \mathbf{M}_\xi]) = 0. \tag{4}$$

Подставив выражение (2) в уравнение (4), получим следующее уравнение:

$$\left(\left[\frac{\partial \mathbf{e}(\varphi, \psi)}{\partial \varphi}, \frac{\partial \mathbf{e}(\varphi, \psi)}{\partial \psi} \right], \mathbf{e}(\varphi, \psi) \right) \times \times L^2(\varphi, \psi; \xi) \frac{\partial L(\varphi, \psi; \xi)}{\partial \xi} = 0. \tag{5}$$

Поскольку в уравнении (5) только последний множитель может обращаться в ноль, то система уравнений для огибающей семейства эллипсоидов принимает вид:

$$\begin{cases} \mathbf{M}(\varphi, \psi; \xi) = \mathbf{e}(\varphi, \psi) \frac{\mathbf{X}^2(\xi) - \Psi^2(\xi)}{2[(\mathbf{X}(\xi), \mathbf{e}(\varphi, \psi)) - \Psi(\xi)]}, \\ \frac{\partial L(\varphi, \psi; \xi)}{\partial \xi} = 0. \end{cases} \tag{6}$$

Обратим внимание, что второе уравнение в системе (6) представляет условие экстремума функции $L(\varphi, \psi; \xi)$ при фиксированных значениях угловых координат φ и ψ . Таким образом, отражающая поверхность описывается выражением (3), где

$$\xi = \arg \min_{\xi \in [0, L]} L(\varphi, \psi; \xi). \tag{7}$$

Уравнения (2), (3), (7) представляют метод расчёта отражающей поверхности, фокусирующей излучение от точечного источника света в произвольную кривую в пространстве.

2. Результаты расчётов

Для проверки полученных выражений в качестве примера была рассчитана отражающая поверхность, формирующая равномерное распределение освещённости на спиральной кривой, заданной в выходной плоскости $x - z + 10 = 0$ следующим параметрическим уравнением в полярных координатах

$$r(\varphi) = 0,2 \cdot \varphi + 1, \quad \varphi \in [0, 4\pi].$$

Для расчёта поверхности с использованием метода [12] предварительно решалась дискретная задача расчёта поверхности для фокусировки в 100 точек на кривой. Затем по полученным значениям эйконала строилась непрерывная аппроксимация распределения эйконала на кривой и по формулам (2), (3), (7) восстанавливалась непрерывная поверхность (рис. 2). Получен-

ная поверхность была промоделирована в коммерческом программном обеспечении TracePro® при трассировке 1 000 000 лучей. Трёхмерная модель оптической системы представлена на рис. 2, а распределение освещённости в выходной плоскости представлено на рис. 3. Равномерность освещённости на кривой (отношение минимального значения освещённости на кривой к максимальному) превышает 80 %.

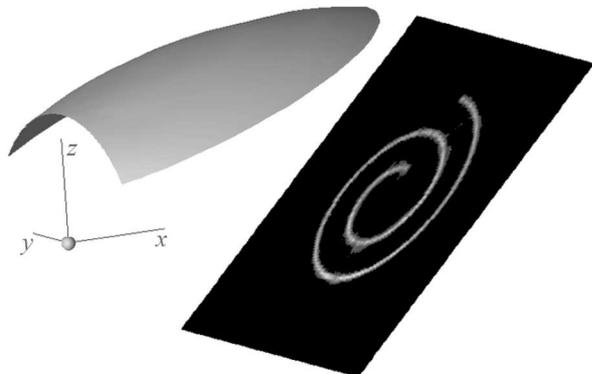


Рис. 2. Оптическая система, фокусирующая излучение от точечного источника в спиральную кривую

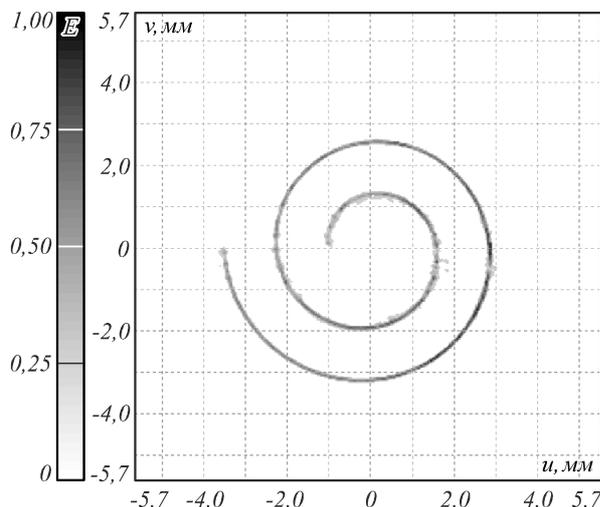


Рис. 3. Полутоновое распределение освещённости, формируемое отражающей поверхностью на рис. 2

На практике часто возникает задача фокусировки в отрезок, имеющая большое количество приложений. В частности, в работах [11, 12] предлагается конструкция системы подсветки дисплеев, в качестве модулей которой используются преломляющие оптические элементы, фокусирующие в отрезки на диффузном отражателе, расположенном в плоскости источника излучения. Такой отражатель необходим для формирования равномерного распределения освещённости в выходной плоскости, расположенной над ним. В качестве диффузионного отражателя в работе [11, 12] предлагается использовать материал Spectralon® [19], производимый компанией Labsphere Corporation и имеющий высокий коэффициент отражения в 95–99 % и закон рассеяния, близкий к закону Ламберта. В этом случае освещаемые отрезки являются вторичными источниками света, аналогичными ранее использовавшимся люминесцентным лампам. Система подсветки, опи-

санная в [11, 12], обладает рядом недостатков: во-первых, данная конструкция обладает достаточно большой толщиной; во-вторых, рассчитанные оптические элементы формируют равномерно освещённые отрезки с большой протяжённостью, что накладывает жёсткие требования на точность изготовления преломляющей поверхности. Ниже предложена другая конструкция системы подсветки, основанная на аналогичной идее, но не имеющая указанных недостатков.

В качестве модуля системы подсветки предлагается использовать светодиод, совмещённый с отражающей поверхностью (рассчитанной с помощью предложенной процедуры), формирующей два равномерно освещённых отрезка длиной 20 мм на расстоянии 10 мм в плоскости диффузионного отражателя $z=0$ (рис. 4).



Рис. 4. Модуль системы подсветки

Работа отражающей поверхности на рис. 4 была промоделирована в программе Trace Pro. На рис. 5 представлен результат моделирования матрицы системы подсветки, состоящей из 42 модулей. Модули на одной линии расположены на расстоянии 20 мм друг от друга, при этом расстояние между соседними линиями составляет 40 мм.



Рис. 5. Матрица системы подсветки, формирующая несколько равномерно освещённых отрезков в плоскости диффузного отражателя

На рис. 6 показано распределение освещённости, формируемое матрицей подсветки в плоскости диффузного отражателя $z=0$. Равномерность освещённости на отрезке составляет 85 %, что подтверждает хорошую работоспособность рассчитанной оптической поверхности. На рис. 7 представлено распределение освещённости в выходной плоскости системы подсветки, расположенной на расстоянии 7 мм от светодиодов. Данное распределение является равномерным, а световая эффективность (отношение светового потока, попавшего в освещаемую область, к световому потоку, излученному набором светодиодов) составляет 93,7 %. Результаты моделирования на рис. 7 были получены для случая точечного источника. На практике размеры светодиодов существенно влияют на равномерность и эффективность светового распределения.

На рис. 8 приведены результаты моделирования системы подсветки для светодиодов Cree® EZ290™ с размером чипа 290 микрон. Световая эффективность конструкции в данном случае составляет 86,5 %, а уровень неравномерности – около 25 %. Равномерность освещения выходной плоскости можно улучшить, увеличив высоту системы подсветки. На рис. 9 представлены результаты моделирования системы подсветки с выходной плоскостью, распо-

ложенной на расстоянии 14 мм от светодиодов. Равномерность в этом случае составляет порядка 93 %.

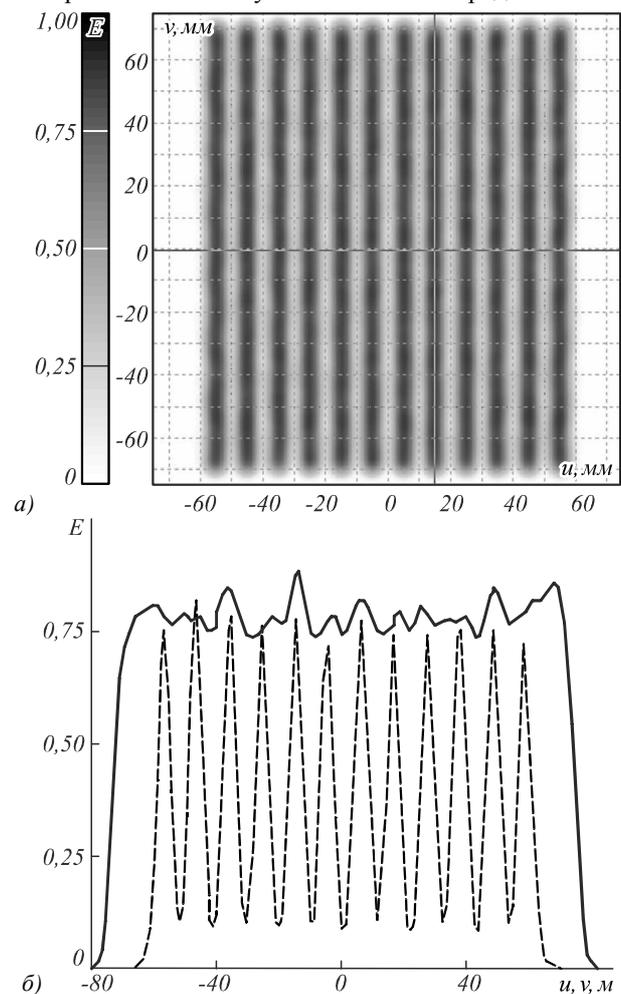


Рис. 6. Распределение освещённости от матрицы подсветки в плоскости диффузного отражателя $z = 0$: полутоновое распределение освещённости (а); профили распределения освещённости (б)

Заключение

В данной работе предложен численно-аналитический подход к расчёту отражающей поверхности, формирующей заданное распределение освещённости на произвольной кривой в пространстве. Решение задачи включает в себя два этапа: расчёт функции эйконала на кривой и последующее восстановление отражающей поверхности по полученной функции эйконала. В качестве примеров с помощью разработанной процедуры расчёта были получены и промоделированы два оптических элемента: отражающая поверхность, формирующая равномерное распределение освещённости на спирали, и модуль системы подсветки дисплеев. Результаты моделирования продемонстрировали хорошую работоспособность метода. При этом было показано, что предложенная система подсветки обеспечивает высокую равномерность (93 %) и обладает хорошей эффективностью (86,5 %).

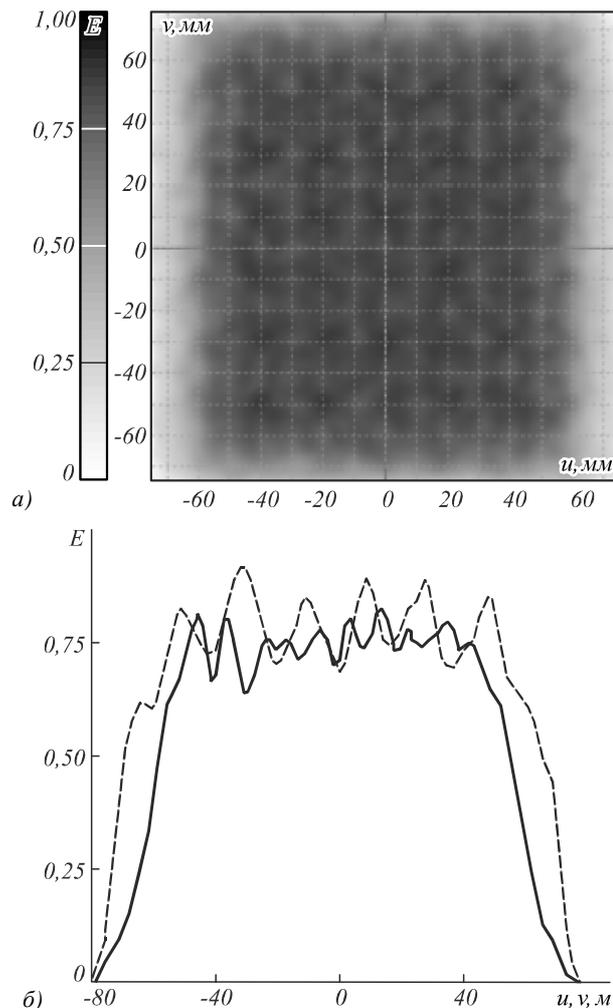


Рис. 7. Распределение освещённости в выходной плоскости $z = 7$ мм в случае точечных источников излучения: полутоновое распределение освещённости (а); профили распределения освещённости (б)

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ и грантов РФФИ 13-07-97001-р_поволжье_а, 14-07-31135-мол_а, 14-07-00339-а.

Литература

1. Досколович, Л.Л. Расчёт зеркала для формирования однопараметрической диаграммы направленности / Л.Л. Досколович, Н.Л. Казанский // Автотметрия. – 2004. – Т. 40, № 5. – С. 104-111.
2. Doshkolovich, L.L. Designing reflectors to generate a line-shaped directivity diagram / L.L. Doshkolovich, N.L. Kazanskiy, S.I. Kharitonov, P. Perlo, S. Bernard // Journal of Modern Optics. – 2005. – Vol. 52(11). – P. 1529-1536.
3. Досколович, Л.Л. Расчёт формы поверхности зеркала для формирования изображения в виде линии / Л.Л. Досколович, С.И. Харитонов // Оптический журнал. – 2005. – Т. 72, № 4. – С. 34-37.
4. Дмитриев, А.Ю. Расчёт преломляющих поверхностей для формирования диаграммы направленности в виде линии / А.Ю. Дмитриев, Л.Л. Досколович // Компьютерная оптика. – 2010. – Т. 34, № 3. – С. 297-301.

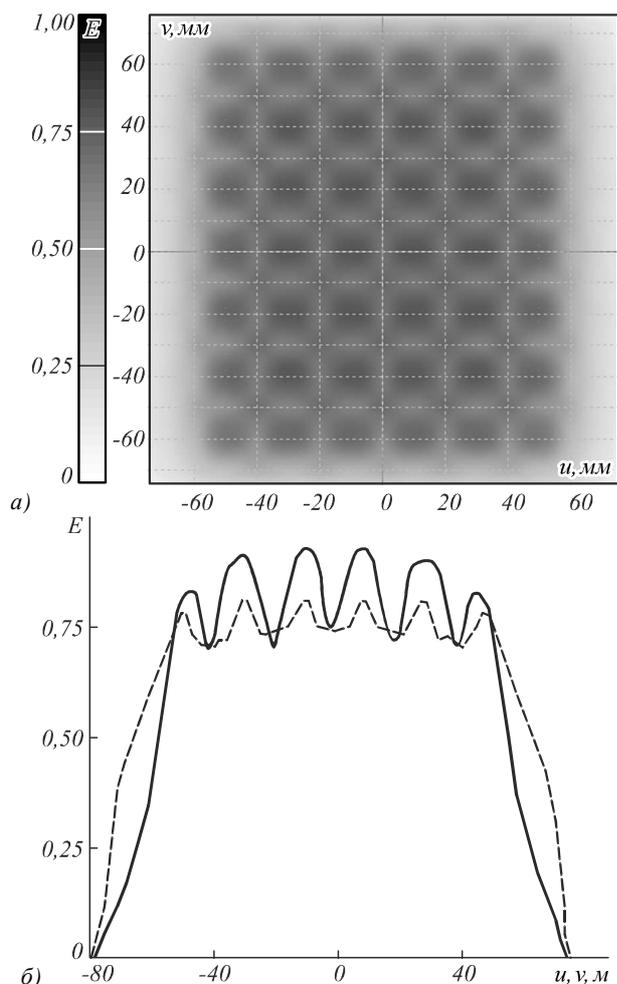


Рис. 8. Распределение освещённости в выходной плоскости $z = 7$ мм для светодиодов Cree® EZ290™: полутоновое распределение освещённости (а); профили распределения освещённости (б)

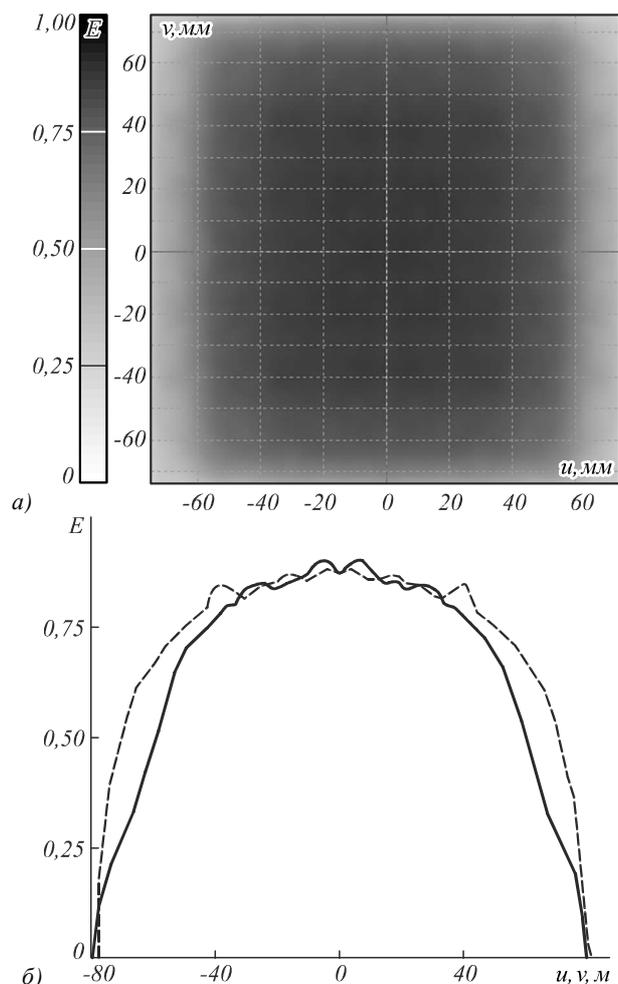


Рис. 9. Распределение освещённости в выходной плоскости $z = 14$ мм для светодиодов Cree® EZ290™: полутоновое распределение освещённости (а); профили распределения освещённости (б)

5. **Doskolovich, L.L.** Analytical design of freeform optical elements generating an arbitrary-shape curve / L.L. Doskolovich, A.Y. Dmitriev, E.A. Bezus, M.A. Moiseev // Applied Optics. – 2013. – Vol. 52(12). – P. 2521-2526.
6. **Doskolovich, L.L.** Analytic design of optical elements generating a line focus / L.L. Doskolovich, A.Y. Dmitriev, S.I. Kharitonov // Optical Engineering. – 2013. – Vol. 52(9), 091707. – P. 1-7.
7. **Doskolovich, L.L.** Designing a mirror to form a line-shaped directivity diagram / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, S. Bernard // Journal of Modern Optics. – 2007. – Vol. 54, Issue 3-4. – P. 589-597.
8. **Досколович, Л.Л.** Расчёт зеркала для формирования диаграммы направленности в виде отрезка / Л.Л. Досколович, Н.Л. Казанский, М.А. Тренина // Автометрия. – 2006. – Т. 42, № 4. – С. 67-75.
9. **Doskolovich, L.L.** Design of freeform optical elements generating a line-shaped directivity diagram / L.L. Doskolovich, A.Y. Dmitriev, M.A. Moiseev // Proceedings SPIE. – 2013. – Vol. 8884, 88841H. – P. 1-8.
10. **Doskolovich, L.L.** Analytical design of freeform optical elements generating an arbitrary-shape curve / L.L. Doskolovich, A.Y. Dmitriev, E.A. Bezus, M.A. Moiseev // Applied Optics. – 2013. – Vol. 52(12). – P. 2521-2526.
11. **Асланов, Э.Р.** Высокоэффективный оптический элемент для светодиодных систем подсветки дисплеев / Э.Р. Асланов, Л.Л. Досколович, М.А. Моисеев // Компьютерная оптика. – 2013. – Т. 37, № 2. – С. 215-219.
12. **Aslanov, E.R.** Design of an optical element forming an axial line segment for efficient LED lighting systems / E.R. Aslanov, L.L. Doskolovich, M.A. Moiseev, E.A. Bezus, N.L. Kazanskiy // Optics Express. – 2013. – Vol. 21(23). – P. 28651-28656.
13. **Гончарский, А.В.** Введение в компьютерную оптику / А.В. Гончарский, В.В. Попов, В.В. Степанов – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 309 с.
14. **Гончарский, А.В.** Математические модели в задачах синтеза плоских оптических элементов / А.В. Гончарский // Компьютерная оптика. – 1987. – № 1 – С. 19-31.
15. **Oliker, V.I.** Mathematical aspects of design of beam shaping surfaces in geometrical optics / V.I. Oliker, M. Kirkilionis, S. Krömker, R. Rannacher, F. Tomi. // Trends in Nonlinear Analysis. – 2003. – P. 197-224.
16. **Kochengin, S.A.** Computational algorithms for constructing reflectors / S.A. Kochengin, V.I. Oliker // Computing and Visualization in Science. – 2003. – Vol. 6 – P. 15-21.
17. **Michaelis, D.** Cartesian oval representation of freeform optics in illumination systems / D. Michaelis, P. Schreiber and A. Bäuer // Optical Letters. – 2011. – Vol. 36. – P. 918-920.
18. **Досколович, Л.Л.** Расчёт эйконала светового поля для фокусировки в набор точек / Л.Л. Досколович, М.А. Моисеев, Е.В. Бызов, С.В. Кравченко // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, № 3. – С. 443-447.
19. <http://www.labsphere.com/products/reflectance-materials-and-coatings/high-reflectance-materials/optical.aspx>

References

1. **Doskolovich, L.L.** Calculation of reflectors for formation of one-parametric radiation directivity diagram / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2004. – Vol. 40(5). – P. 83-89.
2. **Doskolovich, L.L.** Designing reflectors to generate a line-shaped directivity diagram / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, S.I. Kharitonov, P. Perlo, S. Bernard // Journal of Modern Optics. – 2005. – Vol. 52(11). – P. 1529-1536.
3. **Doskolovich, L.L.** Calculating the surface shape of mirrors for shaping an image in the form of a line / L.L. Doskolovich, S.I. Kharitonov // Journal of Optical Technology. – 2005. – Vol. 72(4). – P. 34.
4. **Dmitriev, A.Yu.** Designing refracting surfaces to generate a line-shaped directivity diagram / A.Yu. Dmitriev, L.L. Doskolovich // Computer Optics. – 2010. – Vol. 34(3). – P. 297-301. – (In Russian).
5. **Doskolovich, L.L.** Analytical design of freeform optical elements generating an arbitrary-shape curve / L.L. Doskolovich, A.Y. Dmitriev, E.A. Bezus, M.A. Moiseev // Applied Optics. – 2013. – Vol. 52(12). – P. 2521-2526.
6. **Doskolovich, L.L.** Analytic design of optical elements generating a line focus / L.L. Doskolovich, A.Y. Dmitriev, S.I. Kharitonov // Optical Engineering. – 2013. – Vol. 52(9), 091707. – P. 1-7.
7. **Doskolovich, L.L.** Designing a mirror to form a line-shaped directivity diagram / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, S. Bernard // Journal of Modern Optics. – 2007. – Vol. 54, Issue 3-4. – P. 589-597.
8. **Doskolovich, L.L.** Designing a mirror to generate a directivity diagram in the form of a line segment / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, M.A. Trenina // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2006. – Vol. 42(4). – P. 58-64.
9. **Doskolovich, L.L.** Design of freeform optical elements generating a line-shaped directivity diagram / L.L. Doskolovich, A.Y. Dmitriev, M.A. Moiseev // Proceedings SPIE. – 2013. – Vol. 8884, 88841H. – P. 1-8.
10. **Doskolovich, L.L.** Analytical design of freeform optical elements generating an arbitrary-shape curve / L.L. Doskolovich, A.Y. Dmitriev, E.A. Bezus, M.A. Moiseev // Applied Optics. – 2013. – Vol. 52(12). – P. 2521-2526.
11. **Aslanov, E.R.** High-efficiency optical element for LED display backlight systems / E.R. Aslanov, L.L. Doskolovich, M.A. Moiseev // Computer Optics. – 2013. – Vol. 37(2). – P. 215-219.
12. **Aslanov, E.R.** Design of an optical element forming an axial line segment for efficient LED lighting systems / E.R. Aslanov, L.L. Doskolovich, M.A. Moiseev, E.A. Bezus, N.L. Kazanskiy // Optics Express. – 2013. – Vol. 21(23). – P. 28651-28656.
13. **Goncharsky, A.V.** Introduction to computer optics / A.V. Goncharsky, V.V. Popov, V.V. Stepanov – Moscow: Moscow State University Publisher, 1991. – 309 p. – (In Russian).
14. **Goncharsky, A.V.** Mathematical models in design of flat optics elements / A.V. Goncharsky // Computer Optics. – 1989. – Vol. 1, Number 1. – P. 13-20.
15. **Oliker, V.I.** Mathematical aspects of design of beam shaping surfaces in geometrical optics / V.I. Oliker, M. Kirkilionis, S. Krömker, R. Rannacher, F. Tomi. // Trends in Nonlinear Analysis. – 2003. – P. 197-224.
16. **Kochengin, S.A.** Computational algorithms for constructing reflectors / S.A. Kochengin, V.I. Oliker // Computing and Visualization in Science. – 2003. – Vol. 6 – P. 15-21.
17. **Michaelis, D.** Cartesian oval representation of freeform optics in illumination systems / D. Michaelis, P. Schreiber and A. Bäuer // Optical Letters. – 2011. – Vol. 36. – P. 918-920.
18. **Doskolovich, L.L.** Computation of light field eikonal to focus into a set of points / L.L. Doskolovich, M.A. Moiseev, E.V. Byzov, S.V. Kravchenko // Computer Optics. – 2014. – Vol. 38(3). – P. 443-447. – (In Russian).
19. <http://www.labsphere.com/products/reflectance-materials-and-coatings/high-reflectance-materials/optical.aspx>

DESIGN OF REFLECTIVE SURFACE FOCUSING LIGHT FLUX INTO AN ARBITRARY CURVE

*K.V. Borisova, M.A. Moiseev, L.L. Doskolovich, E.S. Andreev
Image Processing Systems Institute, Russian Academy of Sciences,
Samara State Aerospace University*

Abstract

A numerical-analytical approach is proposed for designing reflective surface producing prescribed irradiance distribution on the curve with specified shape. Method consists of two steps: computation of eikonal function on curve and reconstruction of the reflective surface using precomputed eikonal function. Reflective surface generating spiral line and module of backlight system for displays are designed. The simulation results demonstrate high-quality of the proposed method: light efficiency of backlight system is 86.5 % and uniformity of illuminance distribution is 93 %.

Key words: geometric optics, reflective surface, LED optics, focusing in curve, illumination system.

Сведения об авторах

Борисова Ксения Валерьевна, 1992 года рождения. В 2010 году окончила Самарскую областную физико-математическую школу и поступила на первый курс Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва по специальности «Прикладные математика и физика».

E-mail: kseborisova@gmail.com.

Kseniya Valeryevna Borisova (b. 1992) graduated from Samara Region School of Physics and Mathematics in 2010. Currently she is the student of Samara Space Aerospace University, Informatics department, majoring in Applied Mathematics and Physics.



Сведения об авторе **Досколович Леонид Леонидович** – см. стр. 376 этого номера.

Сведения об авторе **Моисеев Михаил Александрович** – см. стр. 442 этого номера.



Андреев Евгений Сергеевич, 1992 года рождения. В 2010 году окончил Самарскую областную физико-математическую школу и поступил на первый курс Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва по специальности «Прикладные математика и физика».

E-mail: gsomix@gmail.com .

Evgeniy Sergeevich Andreev (b. 1992) graduated from Samara Region School of Physics and Mathematics in 2010. Currently he is the student of Samara Space Aerospace University, Informatics department, majoring in Applied Mathematics and Physics.

Поступила в редакцию 14 августа 2014 г.