

## РАСЧЁТ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ С ДВУМЯ АСФЕРИЧЕСКИМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАДАНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ОСВЕЩЁННОСТИ

*Кравченко С.В., Моисеев М.А., Досколович Л.Л., Казанский Н.Л.*

*Институт систем обработки изображений РАН,*

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

### **Аннотация**

Разработан метод расчёта осесимметричного преломляющего оптического элемента с двумя асферическими поверхностями из условия формирования заданного радиально-симметричного распределения освещённости при точечном источнике излучения. Расчёт сведён к интегрированию системы трёх дифференциальных уравнений первого порядка, разрешённых относительно производных. Проведён сравнительный анализ рабочих характеристик оптических элементов, имеющих две и одну рабочие поверхности. Показано, что оптический элемент с двумя асферическими поверхностями обеспечивает высокую световую эффективность 80-90% при угловых размерах освещаемой области от 0° до 160°.

**Ключевые слова:** расчёт оптических элементов, распределение освещённости, светоизлучающий диод, светотехника.

### **Введение**

Эффективное применение светодиодов в системах освещения требует использования вторичной оптики, осуществляющей перераспределение излучённого светодиодом светового потока и формирование требуемого распределения освещённости в заданной области пространства. Наиболее часто в качестве элементов вторичной оптики используются преломляющие оптические элементы, устанавливаемые непосредственно над излучающим элементом. Эти оптические элементы ограничены одной или двумя асферическими поверхностями или поверхностями свободной формы. Задача расчёта указанных поверхностей является сложной. Как правило, для её решения используются специальные оптимизационные методы [1-6]. Результат работы этих методов и качество получаемых решений зависят от начальной формы преломляющей поверхности, с которой начинается процесс оптимизации. Для расчёта начального приближения поверхности используются аналитические методы, позволяющие рассчитывать осесимметричные и цилиндрические поверхности при точечных источниках излучения [7-10]. В частности, в работе [9] решена задача расчёта осесимметричного оптического элемента, имеющего единственную асферическую поверхность и формирующего заданное радиально-симметричное распределение освещённости. Такие оптические элементы обеспечивают хорошую работоспособность при формировании заданных распределений освещённости со средними и большими угловыми размерами (от 80° и более), но не позволяют эффективно формировать освещённые области с малыми угловыми размерами в 20° – 50°. Это связано с ограниченными возможностями преломляющей поверхности по повороту лучей на большие углы. Действительно, при формировании оптическим элементом освещённой области с угловым размером, например, в 50° необходимо повернуть боковые лучи от источника на

угол  $90^\circ - 50^\circ/2 = 65^\circ$ . Максимальный угол поворота луча при преломлении на границе двух сред с относительным показателем преломления 1,5 составляет чуть менее 50°. Таким образом, эффективное формирование освещённых областей с угловыми размерами менее 80° является физически невозможным при использовании единственной преломляющей поверхности.

В данной работе получено аналитическое решение задачи расчёта осесимметричного оптического элемента, имеющего две асферические поверхности. Наличие двух рабочих преломляющих поверхностей позволяет формировать заданные радиально-симметричные распределения освещённости в областях с любыми угловыми размерами от 0° до 160°, при этом световая эффективность во всех случаях составляет более 80 %.

### **1. Постановка задачи**

Рассмотрим геометрию задачи. Преломляющий оптический элемент из материала с показателем преломления  $n_2$  ограничен двумя асферическими поверхностями с осью вращения  $z$  и находится в среде с показателем преломления  $n_3 = 1$  (рис. 1). В начале координат, в среде с показателем преломления  $n_1$ , расположен точечный источник света с функцией интенсивности  $I(\varphi)$ , излучающий в полусферу  $z > 0$ .

Пусть профиль внутренней поверхности преломляющего оптического элемента определяется функцией радиус-вектора  $\mathbf{R}(\varphi)$ . В таком случае профиль внешней поверхности может быть задан скалярной функцией  $l(\varphi)$ , определяющей расстояние от точки  $\mathbf{R}(\varphi)$  внутренней поверхности до точки  $\mathbf{M}(\varphi)$  внешней поверхности вдоль луча  $\mathbf{a}_1(\varphi)$ , вышедшего из источника и преломлённого в точке  $\mathbf{R}(\varphi)$  (рис. 1). Таким образом, задача расчёта оптического элемента сводится к нахождению скалярных функций

$R(\varphi)$  и  $l(\varphi)$  из условия формирования в выходной плоскости  $z = f$  требуемого радиально-симметричного распределения освещённости  $E(\rho)$ .

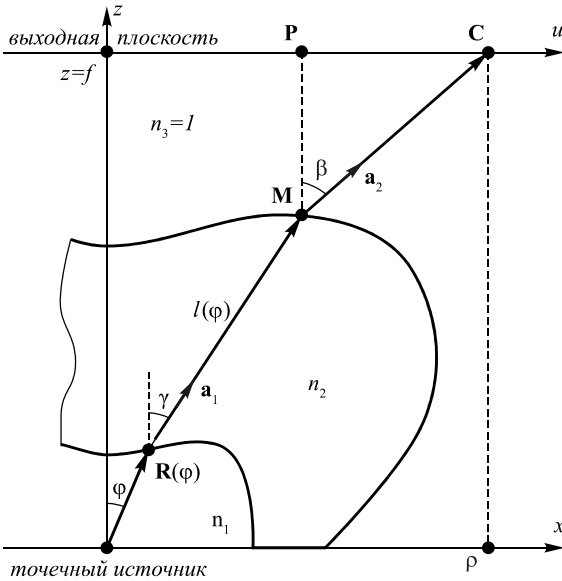


Рис. 1. Взаимное расположение источника, оптического элемента и выходной плоскости

**2. Расчёт внешней поверхности при фиксированной внутренней поверхности**

Рассмотрим сначала решение более простой задачи расчёта профиля внешней поверхности при заданной внутренней поверхности  $\mathbf{R}(\varphi)$ .

Запишем уравнение наклонов [11] для точки  $\mathbf{M}(\varphi) = (x(\varphi), 0, z(\varphi))$  внешней поверхности:

$$\frac{d\Psi}{d\varphi} = \frac{dx}{d\varphi} a_{2x}(\varphi) + \frac{dz}{d\varphi} a_{2z}(\varphi), \tag{1}$$

где  $\Psi(\varphi)$  – функция эйконала на внешней поверхности [12]

$$\Psi(\varphi) = n_1 R(\varphi) + n_2 l(\varphi), \tag{2}$$

$$\frac{dl}{d\varphi} = \frac{\frac{dR}{d\varphi} \cos(\varphi - \beta) - R \sin(\varphi - \beta) - \frac{d\gamma}{d\varphi} l \sin(\gamma - \beta) - n_1 \frac{dR}{d\varphi}}{n_2 - \cos(\varphi - \gamma)}, \tag{6}$$

где  $\gamma(\varphi)$  – угловая координата луча внутри оптического элемента. Так как профиль внутренней поверхности  $\mathbf{R}(\varphi)$  является известным, то и зависимость угловой координаты  $\gamma$  преломлённого луча от координаты  $\varphi$  луча, вышедшего из источника, также можно считать известной.

Дифференциальное уравнение (6) является разрешённым относительно производной, таким образом, расчёт внешней преломляющей поверхности при известной внутренней поверхности сводится к интегрированию выражения (6) с использованием

$\mathbf{a}_2(\varphi) = (\sin \beta(\varphi), 0, \cos \beta(\varphi))$  – единичный вектор луча, вышедшего из оптического элемента,  $\beta$  – угол между этим лучом и осью  $z$ .

Угол  $\beta$  определяется из треугольника  $MPC$  на рис. 1:

$$\tan \beta(\varphi) = \frac{\rho(\varphi) - (R(\varphi) \sin \varphi + l(\varphi) \sin \gamma(\varphi))}{f - (R(\varphi) \cos \varphi + l(\varphi) \cos \gamma(\varphi))}. \tag{3}$$

Функция  $\rho(\varphi)$  в уравнении (3) устанавливает взаимосвязь между угловой координатой  $\varphi$  луча, вышедшего из источника, и точкой  $\rho$  его пересечения с выходной плоскостью. В дальнейшем будем называть  $\rho(\varphi)$  функцией лучевого соответствия. Функция лучевого соответствия может быть найдена из закона сохранения светового потока:

$$I(\varphi) d\Omega = E(\rho(\varphi)) dS, \tag{4}$$

здесь  $d\Omega = 2\pi \sin(\varphi) d\varphi$  – элементарный телесный угол, а  $dS = 2\pi \rho(\varphi) d\rho(\varphi)$  – соответствующий ему элементарный кольцевой сегмент в выходной плоскости. Из (4) несложно получить для расчёта функции лучевого соответствия  $\rho(\varphi)$  следующее дифференциальное уравнение первого порядка:

$$\frac{d\rho(\varphi)}{d\varphi} = \frac{I(\varphi) \sin \varphi}{\rho(\varphi) E(\rho(\varphi))}. \tag{5}$$

Особенность в правой части уравнения (5) (деление на ноль при  $\rho(\varphi) = 0$ ) можно устранить с помощью замены переменной  $\rho = \sqrt{t}$ . Уравнение (5) разрешено относительно производной, поэтому для его интегрирования может быть использован стандартный численный метод, например, метод Рунге - Кутты [13].

После подстановки выражений (2), (3) в уравнение (1) и выполнения преобразований получим для функции  $l(\varphi)$  дифференциальное уравнение первого порядка:

стандартных численных методов (например, метода Рунге - Кутты [13]).

**3. Одновременный расчёт двух поверхностей**

Рассмотрим общий случай расчёта внешнего и внутреннего профилей поверхностей оптического элемента из условия формирования заданного распределения освещённости  $E(\rho)$  с максимальной световой эффективностью. Под световой эффективностью оптического элемента будем понимать долю излучённого источником светового потока, попавшую в освещаемую область.

Формализуем условие достижения максимальной световой эффективности. Световая эффективность оптического элемента определяется френелевскими потерями, возникающими при преломлении лучей на внутренней и внешней преломляющих поверхностях. Несложно показать, что френелевские потери при прохождении луча через оптический элемент минимальны в случае, когда углы поворота луча на обеих поверхностях равны, т.е. когда обе поверхности выполняют одинаковую «работу» по повороту луча и перенаправлению светового потока в заданную область. На внутренней поверхности угол поворота луча равен  $\gamma(\varphi) - \varphi$ , на внешней –  $\beta(\varphi) - \gamma(\varphi)$ . Приравняв эти два выражения, получим ограничение, накладываемое на углы  $\varphi$ ,  $\gamma(\varphi)$ ,  $\beta(\varphi)$  и формализующее условие достижения максимальной световой эффективности:

$$\beta(\varphi) = 2\gamma(\varphi) - \varphi. \tag{7}$$

Запишем систему дифференциальных уравнений для одновременного расчёта профилей обеих поверхностей из условия формирования заданного распределения освещённости с максимальной световой эффективностью. Уравнение для профиля внешней поверхности (6) было получено ранее.

В это уравнение входят неизвестные функции модуля радиус-вектора внутренней поверхности

$$\left\{ \begin{aligned} h_1 &= \frac{v \sin(\gamma(\varphi)) - u \cos(\gamma(\varphi))}{v^2}, \\ h_2 &= \frac{2}{\cos^2(2\gamma(\varphi) - \varphi)} + \frac{l(\varphi)(v \cos(\gamma(\varphi)) - u \sin(\gamma(\varphi)))}{v^2}, \\ h_3 &= \frac{1}{\cos^2(2\gamma(\varphi) - \varphi)} + \frac{v \frac{d\rho(\varphi)}{d\varphi} - R(\varphi)(v \cos(\varphi) + u \sin(\varphi)) + \frac{dR(\varphi)}{d\varphi}(u \cos(\varphi) - v \sin(\varphi))}{v^2}, \end{aligned} \right.$$

где  $\left\{ \begin{aligned} g_1 &= 1, \\ g_2 &= \frac{l(\varphi) \sin(\varphi - \gamma(\varphi))}{n_2 - \cos(\varphi - \gamma(\varphi))}, \\ g_3 &= \frac{\frac{dR(\varphi)}{d\varphi}(\cos(2\varphi - 2\gamma(\varphi)) - n_1) - R(\varphi) \sin(2\varphi - 2\gamma(\varphi))}{n_2 - \cos(\varphi - \gamma(\varphi))}, \\ u &= \rho(\varphi) - (R(\varphi) \sin(\varphi) + l(\varphi) \sin(\gamma(\varphi))), \\ v &= f - (R(\varphi) \cos(\varphi) + l \cos(\gamma(\varphi))). \end{aligned} \right.$

Система (9) представляет собой систему трёх дифференциальных уравнений первого порядка, разрешённых относительно производных, поэтому для её интегрирования можно применять стандартные численные методы, например, метод Рунге - Кутты [13].

**4. Результаты расчёта оптических элементов**

Для проверки рабочих характеристик метода (9) был рассчитан ряд оптических элементов, формирующих равномерные распределения освещённости в круглых областях с различными угловыми размерами.

$R(\varphi)$  и угловой координаты луча внутри оптического элемента  $\gamma(\varphi)$ .

Дифференциальное уравнение для расчёта внутренней поверхности несложно получить аналогично (6) из уравнения наклонов в виде [9]:

$$\frac{dR(\varphi)}{d\varphi} = -R(\varphi) \frac{\sin(\varphi - \gamma(\varphi))}{\frac{n_1}{n_2} - \cos(\varphi - \gamma(\varphi))}. \tag{8}$$

Для того чтобы получить недостающее дифференциальное уравнение для  $\gamma(\varphi)$  и учесть ограничение (7), подставим выражение (7) в (3) и продифференцируем обе части уравнения по  $\varphi$ . После несложных преобразований и объединения полученного уравнения с уравнениями (6) и (8) получим следующую систему:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dR(\varphi)}{d\varphi} &= -R(\varphi) \frac{\sin(\varphi - \gamma(\varphi))}{\frac{n_1}{n_2} - \cos(\varphi - \gamma(\varphi))}, \\ \frac{d\gamma(\varphi)}{d\varphi} &= \frac{h_3 g_1 - h_1 g_3}{h_2 g_1 - h_1 g_2}, \\ \frac{dl(\varphi)}{d\varphi} &= \frac{h_3 g_2 - h_2 g_3}{h_1 g_2 - h_2 g_1}, \end{aligned} \right. \tag{9}$$

На рис. 2 приведено сравнение световой эффективности оптических элементов, формирующих одинаковые распределения освещённости, но имеющие разные внутренние поверхности. График с треугольными маркерами соответствует оптическим элементам с внутренней сферической поверхностью, центр которой совпадает с точечным источником. У таких элементов «рабочей» является только внешняя поверхность, рассчитываемая из уравнений (5), (8). График с квадратными маркерами соответствует элементам с внутренней асферической по-

верхностью. Указанные элементы рассчитываются из системы (9) и имеют две рабочие поверхности.

Расчёт оптических элементов проводился для ламбертовского источника, показатель преломления материала оптического элемента считался равным 1,56, что соответствует полиметилметакрилату.

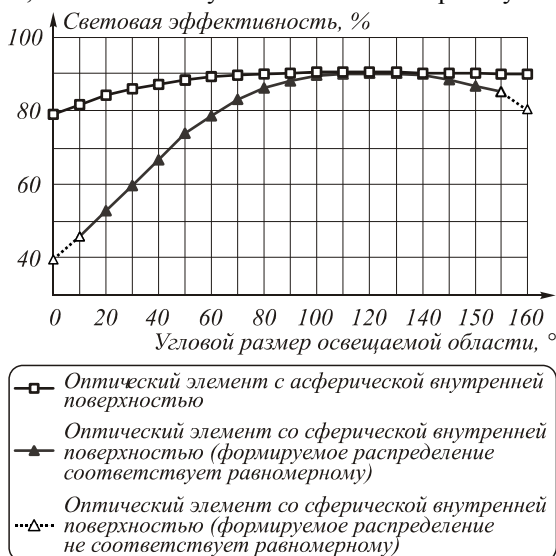


Рис. 2. Зависимость световой эффективности оптических элементов с одной и двумя рабочими поверхностями от углового размера формируемого распределения освещённости

При угловых размерах освещаемой области от 80° до 150° световая эффективность в обоих случаях составляет более 85%. При угловом размере освещаемой области менее 80° и более 20° оптические элементы с внутренней сферической поверхностью сохраняют работоспособность, но их эффективность падает на 5–35% по сравнению с элементами, имеющими внутреннюю асферическую поверхность. Равномерно освещаемые области с угловыми размерами менее 20° можно сформировать только при использовании оптических элементов с двумя рабочими поверхностями, рассчитываемыми с помощью системы уравнений (9).

При выводе системы уравнений (9) предполагалось, что источник излучения – точечный. На рис. 3 представлен результат моделирования оптического элемента, рассчитанного с помощью системы (9) и формирующего равномерно освещённую круглую область с угловым размером 60° при протяжённом источнике 1×1 мм. Высота оптического элемента составляет 7 мм, а расстояние от источника до внутренней поверхности вдоль оси z – 1,5 мм. Световая эффективность оптического элемента при протяжённом источнике излучения составила 87,4%. Распределение освещённости на рис. 3 демонстрирует, что оптические элементы, рассчитанные с помощью системы уравнений (9), сохраняют свою работоспособность также при протяжённом источнике излучения. Это объясняется тем, что ограничение (7), накладываемое при расчёте оптических элементов, обеспечивает не-

большие величины углов падения лучей на поверхности. Таким образом, при переходе к протяжённому источнику, несмотря на разницу углов падения лучей, вышедших из разных точек источника, зоны полного внутреннего отражения, а также зоны с большими френелевскими потерями продолжают отсутствовать.

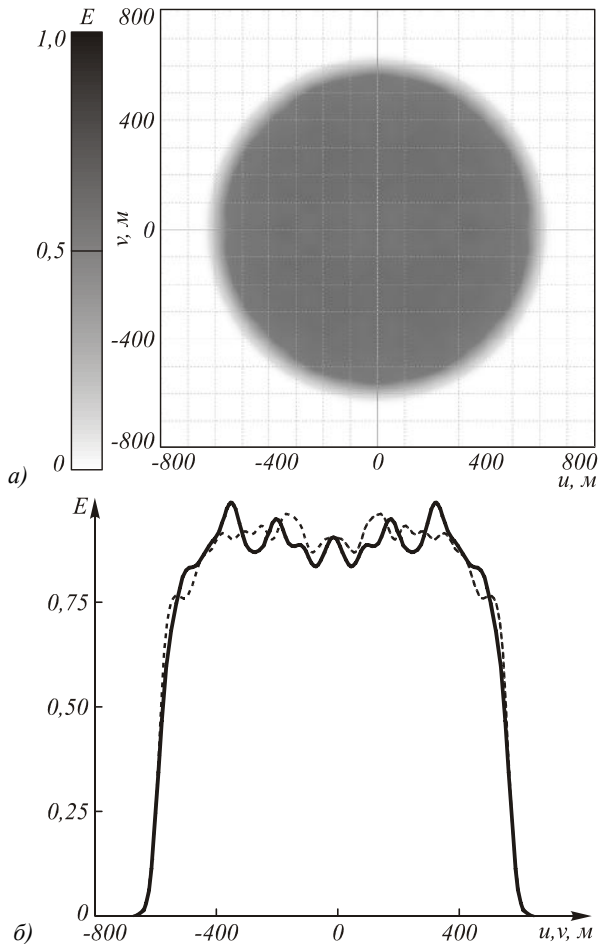


Рис. 3. Распределение освещённости, формируемое оптическим элементом при протяжённом источнике излучения 1×1 мм: полутоновое распределение (а); сечения распределения освещённости: непрерывная линия –  $v = 0$ , штриховая линия –  $u = 0$  (б)

**Заключение**

Задача расчёта оптического элемента с двумя асферическими поверхностями, формирующего с максимальной световой эффективностью заданное распределение освещённости при точечном источнике излучения, сведена к интегрированию системы трёх дифференциальных уравнений первого порядка (9), разрешённых относительно производных. Использование двух рабочих поверхностей позволяет существенно увеличить световую эффективность оптического элемента по сравнению с элементами, имеющими только одну внешнюю рабочую поверхность. При угловых размерах освещаемой области от 20° до 80° выигрыш в световой эффективности составляет от 5% до 35%. Кроме того, оптические элементы с двумя асферическими поверхностями

показывают хорошую работоспособность и при протяжённых источниках излучения, что объясняется ограничением на углы поворота лучей, закладываемым при расчёте оптического элемента.

### *Благодарности*

Работа выполнена при поддержке государственных контрактов 07.514.11.4060, 07.514.11.4055, 07.514.11.4105 и гранта Президента РФ НШ-7414.2010.9.

### *Литература*

1. **Белоусов, А.А.** Градиентный метод расчёта оптических элементов для формирования заданной освещённости на криволинейной поверхности / А.А. Белоусов, Л.Л. Досколович, С.И. Харитонов // Оптический журнал. - 2008. - Т. 75, № 3. - С. 30-35. - ISSN 0030-4042.
2. **Моисеев, М.А.** Расчёт преломляющего оптического элемента для формирования заданного распределения освещённости при протяжённом источнике излучения / Л.Л. Досколович, М.А. Моисеев // Компьютерная оптика. - 2010. - Т. 34, № 2. - С. 194-200. - ISSN 0134-2452.
3. **Моисеев, М.А.** Расчёт преломляющих оптических элементов для формирования заданных распределений освещённости в прямоугольных областях с большим соотношением сторон / Л.Л. Досколович, М.А. Моисеев, А.Х. Султанов // Компьютерная оптика. - 2010. - Т. 34, № 4. - С. 469-473. - ISSN 0134-2452.
4. **Ding, Y.** Freeform LED lens for uniform illumination / Y. Ding, X. Liu, Zh. Zheng, P. Gu // Optics Express. - 2008. - Vol. 16(17). - P. 12958-12966. - ISSN 1094-4087.
5. **Zheng, Zh.** Freeform surface lens for LED uniform illumination / Zh. Zheng, X. Hao, X. Liu // Applied Optics, 2009. - Vol. 48(35). - P. 6627-6634. - ISSN 1559-128X.
6. **Luo, Y.** Design of compact and smooth free-form optical system with uniform illuminance for LED source / Y. Luo, Z. Feng, Y. Han, H. Li // Optics Express. - 2010. - Vol. 18(9). - P. 9055-9063. - ISSN 1094-4087.
7. **Elmer, W.B.** Optical design of reflectors. Part 2 / W.B. Elmer // Applied Optics. - 1978. - Vol. 17, N 7. - P. 977-979. - ISSN 0003-6935.
8. **Дмитриев, А.Ю.** Расчёт преломляющей поверхности для формирования диаграммы направленности в виде отрезка / А.Ю. Дмитриев, Л.Л. Досколович // Компьютерная оптика. - 2010. - Т. 34, № 4. - С. 476-480. - ISSN 0134-2452.
9. **Досколович, Л.Л.** Расчёт радиально-симметричных преломляющих поверхностей с учётом френелевских потерь / Л.Л. Досколович, М.А. Моисеев // Компьютерная оптика. - 2008. - Т. 32, № 2. - С. 201-203. - ISSN 0134-2452.
10. **Досколович, Л.Л.** Расчёт преломляющего оптического элемента, формирующего диаграмму направленности в виде отрезка / Л.Л. Досколович, М.А. Моисеев // Компьютерная оптика. - 2008. - Т. 32, № 4. - С. 366-369. - ISSN 0134-2452.
11. Дифракционная компьютерная оптика / под ред. В.А. Соифера. - М.: Физматлит, 2007. - 736 с.
12. **Борн, М.** Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф. - М.: Наука, 1973. - 720 с.
13. **Бахвалов, Н.С.** Численные методы / Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.М. Кобельков. - М.: Бином, 2001. - С. 363-375.

### *References*

1. **Belousov, A.A.** A gradient method of designing optical elements for forming a specified irradiance on a curved surface / A.A. Belousov, L.L. Doskolovich, S.I. Kharitonov // J. Opt. Technol. - 2008. - Vol. 75, N 3. - P. 161-165. - ISSN 1070-9762.
2. **Moiseev, M.A.** Design of refractive spline surface for generating required irradiance distribution with large angular dimension / M.A. Moiseev, L.L. Doskolovich // J. Mod. Opt. - 2010. - Vol. 57, N 7. - P. 536-544. - ISSN 0950-0340.
3. **Moiseev, M.A.** Design of high-efficient freeform LED lens for illumination of elongated rectangular regions / M.A. Moiseev, L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy // Optics Express. - 2011. - Vol. 19, N S3. - P. A225-A233. - ISSN 1094-4087.
4. **Ding, Y.** Freeform LED lens for uniform illumination / Y. Ding, X. Liu, Zh. Zheng, P. Gu // Optics Express. - 2008. - Vol. 16(17). - P. 12958-12966. - ISSN 1094-4087.
5. **Zheng, Zh.** Freeform surface lens for LED uniform illumination / Zh. Zheng, X. Hao, X. Liu // Applied Optics. - 2009. - Vol. 48(35). - P. 6627-6634. - ISSN 1559-128X.
6. **Luo, Y.** Design of compact and smooth free-form optical system with uniform illuminance for LED source / Y. Luo, Z. Feng, Y. Han, H. Li // Optics Express. - 2010. - Vol. 18(9). - P. 9055-9063. - ISSN 1094-4087.
7. **Elmer, W.B.** Optical design of reflectors. Part 2 / W.B. Elmer // Applied Optics. - 1978. - Vol. 17, N 7. - P. 977-979. - ISSN 0003-6935.
8. **Dmitriev, A.Yu.** Design of refracting surface to generate a line-segment directivity diagram / A.Yu. Dmitriev, L.L. Doskolovich // Computer Optics. - 2010. - Vol. 34, N 4. - P. 476-480. - ISSN 0134-2452. - (in Russian).
9. **Doskolovich, L.L.** Design of radially-symmetrical refractive surface taking into account Fresnel loss / L.L. Doskolovich, M.A. Moiseev // Computer Optics. - 2008. - Vol. 32, № 2. - P. 201-203. - ISSN 0134-2452. - (in Russian).
10. **Doskolovich, L.L.** Design of refractive optical element producing line-shaped directivity diagram / L.L. Doskolovich, M.A. Moiseev // Computer Optics. - 2008. - Vol. 32, N 4. - P. 366-369. - ISSN 0134-2452. - (in Russian).
11. Methods for computer design of diffractive optical elements / ed. V.A. Soifer. - New York: John Wiley & Sons, Inc., 2002. - 765 p.
12. **Born, M.** Principles of optics / M. Born, E. Wolf. - Cambridge: Cambridge University Press, 2003. - 952 p.
13. **Butcher, J.Ch.** Numerical methods for ordinary differential equations / J.Ch. Butcher. - Chichester: Wiley, 2003. - 428 p.

**DESIGN OF AXIS-SYMMETRICAL OPTICAL ELEMENT WITH TWO ASPHERICAL SURFACES FOR GENERATION OF PRESCRIBED IRRADIANCE DISTRIBUTION**

*S.V. Kravchenko, M.A. Moiseev, L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy  
Image Processing Systems Institute of the RAS,  
Samara State Aerospace University named after S.P. Korolyov*

**Abstract**

Method of design of axis-symmetrical refractive optical element with two aspherical surfaces for generation of prescribed radially-symmetrical irradiance distribution is presented. The computation problem is reduced to the integration of set of three first-order differential equations solved for the derivatives. The performance of two optical element designs with spherical and aspherical inner surface is compared. The design with aspherical inner surface produces light efficiency of 80–90% for illuminated regions with angular size of  $0^{\circ}$ – $160^{\circ}$ .

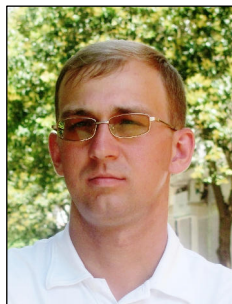
**Key words:** optical element design, irradiance distribution, light-emitting diode, nonimaging optics.

**Сведения об авторах**

**Кравченко Сергей Васильевич**, 1991 года рождения. В 2008 году окончил с серебряной медалью МОУ Лицей №51 городского округа Тольятти и поступил на первый курс факультета информатики Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва по специальности «Прикладные математика и физика».

E-mail: [atlant91-09@mail.ru](mailto:atlant91-09@mail.ru).

**Sergey Vasilyevich Kravchenko** (b. 1991) finished school №51 in Togliatti with silver medal in 2008. Currently he is the student of Samara Space Aerospace University, Informatics Department, majoring in Applied Mathematics and Physics.



**Моисеев Михаил Александрович**, 1986 года рождения, в 2008 году с отличием окончил Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (СГАУ) по специальности 010600 «Прикладные математика и физика». Кандидат физико-математических наук (2011 год), работает научным сотрудником в лаборатории дифракционной оптики Института систем обработки изображений РАН (ИСОИ РАН). Является членом международного научного общества *SPIE*. Моисеев М.А. – специалист в области решения обратных задач геометрической оптики. В списке научных работ М.А. Моисеева 14 статей и 2 авторских свидетельства. Страница в интернете: <http://www.ipsi.smr.ru/staff/MoiseevM.htm>.

E-mail: [mikhail@smr.ru](mailto:mikhail@smr.ru).

**Mikhail Alexandrovich Moiseev** (b. 1986) graduated with honors (2008) from the Samara State Aerospace University named after S.P. Korolyov (SSAU), majoring in Applied Mathematics and Physics. He received his Philosophy Degree in Physics and Mathematics (2011) from Samara State Aerospace University. He is a researcher in diffraction optics laboratory of Image Processing Systems Institute of the RAS (IPSI RAS). He is a *SPIE* member. He is co-author of 14 scientific papers and 2 inventions and patents. His current research interests include nonimaging optics. Homepage: <http://www.ipsi.smr.ru/staff/MoiseevM.htm>.

*Сведения об авторе Досколович Леонид Леонидович – см. стр. 437 этого номера.*

*Сведения об авторе Казанский Николай Львович – см. стр. 430 этого номера.*

*Поступила в редакцию 1 ноября 2011 г.*