

УДК 535.31

**РАЗРАБОТКА ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ СВЕТОДИОДОВ
С НЕСКОЛЬКИМИ РАБОЧИМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ
ДЛЯ ЗАДАЧ ДОРОЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ**

Бызов Е. В., Кравченко С. В., Моисеев М. А.

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С. П. Королёва

Институт систем обработки изображений РАН – филиал ФНИЦ «Кристаллография и
фотоника», Самара

Разработка вторичной оптики светодиодов для дорожного освещения является крайне сложной задачей. Оптические элементы, предназначенные для её решения, должны иметь максимальную световую эффективность, обеспечивать высокую равномерность освещённости и яркости на дорожном полотне, а также удовлетворять многим другим специфичным требованиям. В настоящей работе показано, что использование модификации метода согласованных квадратов позволяет рассчитывать оптические поверхности свободной формы, с запасом удовлетворяющим данным требованиям. В качестве примеров рассчитано два оптических элемента для разных типов дорог. Рассчитанные элементы были изготовлены методом литья под давлением, после чего были измерены на фотометрическом стенде. Результаты измерения показывают, что формируемое световое распределение удовлетворяет требованиям самого высокого класса МЕ1 стандарта EN 13201. Полученные диаграммы направленности являются универсальными и обеспечивают высокие характеристики для различных конфигураций расположений осветительных опор: отношение расстояния между опорами к их высоте может варьироваться от 2.5 до 3.6.

Единичные оптические элементы практически не используются в задачах дорожного освещения, так как применение так называемых массивов линз (мультилинз) является более дешёвым, надёжным и эффективным. Под мультилинзой понимается пластиковое основание с несколькими оптическими элементами внутри него. Такой массив обычно устанавливается непосредственно на печатную плату с массивом светодиодов. В таком случае, каждому светодиоду на плате соответствуют свои преломляющие поверхности, которые формируют заданное световое распределение.

Расчёт поверхностей оптического элемента будем выполнять последовательно, для каждой поверхности получим сначала кусочно-гладкое решение из условия формирования дискретного светового распределения, аппроксимирующего непрерывную диаграмму направленности, а затем сгладим полученное решение NURBS-сплайном. Форма такой кусочно-гладкой поверхности полностью определяется набором параметров сегментов. Для расчёта этих параметров предлагается использовать метод, предложенный В. Оликером в работах [1,2]. В этом случае, построение внутренней кусочно-гладкой поверхности, формирующей заданное дискретное световое распределение, сводится к следующей последовательности действий:

1. Инициализация вектора параметров начальными значениями.
2. Расчёт формируемого дискретного светового распределения.
3. Вычисление максимальной ошибки формирования заданной дискретной диаграммы направленности. В случае, когда текущая ошибка превосходит заданную точность формирования дискретного распределения, выполняется переход к шагу 4, иначе расчёт кусочно-гладкой внутренней поверхности считается завершённым.

4. Коррекция значений параметров и переход к шагу 2. Отметим, что в работах [1,2] предложен простой способ корректировки параметров сегментов, который гарантирует глобальную сходимость итерационного процесса и может быть использован для решения данной задачи.

В данном исследовании предлагается разработать две мультилинзы: первая для освещения с мачт, расположенных посередине проезжей части, второй для столбов, находящихся по двум сторонам проезжей части. Оба оптических элемента должны формировать распределение, соответствующее стандарту EN 13201 для дорог класса ME1 [3].

Наиболее часто мультилинза состоит из одинаковых оптических элементов, формирующих одну и ту же диаграмму. Для каждого примера в данном исследовании подобрана своя диаграмма направленности, после чего рассчитан оптический элемент, на основе которого спроектирована мультилинза.

Для изготовления мультилинз использовалась технология инжекционного литья под давлением. Для лучшего воспроизведения оптических поверхностей параметры литья были прооптимизированы: температура расплава 270°C , пресс-формы - 60°C , скорость потока расплава - $50\text{ см}^3/\text{с}$, время выдержки под давлением 15 с. Абсолютная точность изготовления составила 25 микрон.

Световые распределения, формируемые изготовленными мультилинзами, были измерены на фотометрическом стенде, светодиод - Osram OSLON Square. Полученные кривые силы света (КСС) представлены на рисунках 1, 2. Относительное среднеквадратичное отклонение формируемых распределений от заданных не превысило 8%.

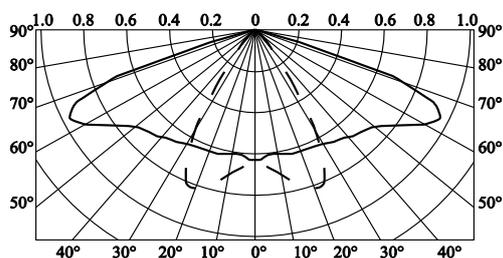


Рис. 1 Кривые силы света, формируемые изготовленной мультилинзой для четырехполосной дороги

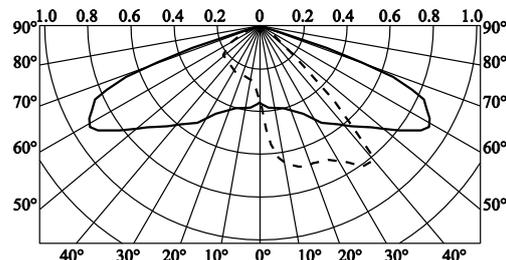


Рис. 2 Кривые силы света, формируемые изготовленной мультилинзой для шестиполосной дороги.

Работа выполнена за счёт гранта Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 17-47-630164 р_а.

Библиографический список

1. A. Bruneton, A. Bauerle, R. Wester, J. Stollenwerk, and P. Loosen, "High resolution irradiance tailoring using multiple freeform surfaces," *Opt. Express* 21(9), 10563–10571 (2013).
2. Z. Feng, L. Huang, G. Jin, and M. Gong, "Designing double freeform optical surfaces for controlling both irradiance and wavefront," *Opt. Express* 21(23), 28693–28701 (2013).
3. X. Hu, and K. Qian, "Optimal design of optical system for LED road lighting with high illuminance and luminance uniformity," *Appl. Opt.* 52, 5888–5893 (2013).