

МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ С УПРАВЛЯЕМОЙ ЦВЕТНОСТЬЮ

© 2013 **Е. В. Горбунова**, канд. техн. наук; **В. С. Перетьягин**, аспирант;
А. Н. Чертов, канд. техн. наук

НИУ ИТМО, Санкт-Петербург

E-mail: peretyagin@mail.ru

Работа посвящена математическому описанию многоэлементного источника излучения с управляемой цветностью. В предлагаемой модели форма пространственного распределения освещенности на заданном расстоянии от источника определяется количеством и взаимным расположением его элементов, функциями, описывающими оптические характеристики элементов, и расстоянием от многоэлементного источника до зоны анализа (экрана, рабочей зоны и т.п.). Для моделирования источника излучения, включающего в себя излучающие элементы с различными спектрами излучения, и получения модели цветовой картины в зоне анализа используется комбинация распределений трех цветовых составляющих – красной, зеленой и синей.

Ключевые слова: источник многокомпонентный, цветность, цветной источник.

Коды OCIS: 230.0250, 230.2090, 230.6080.

Поступила в редакцию 29.04.2013.

На сегодняшний день существует потребность как в достоверном измерении, так и в правильном представлении цветных и спектральных параметров и характеристик источников оптического излучения, применяемых в различных областях производства (например, в автоматических системах промышленного контроля и/или измерения цвета продукции). Данная потребность объясняется стремительным развитием светодиодной продукции, появлением новых вариантов дисплеев или световых табло, а также технологическими процессами, связанными с использованием указанных типов источников. Одним из преимуществ светодиодных технологий является возможность сочетания высокой мощности излучения практически с любой формой его пространственного распределения и большим многообразием цветных оттенков.

Поэтому данные технологии требуют более пристального внимания в том случае, если требуется обеспечить определенный характер распределения освещенности и/или распределения цветовой картины на заданном расстоянии

(например, рабочей зоны, зоны анализа или наблюдения).

В настоящее время представление или образование цвета, а также и его распознавание или сравнение, является сложной и порой неосуществимой задачей, решение которой зависит от совокупности многих факторов. В качестве одной из систем представления цвета Международной комиссией по освещению (МКО) была предложена система координат цветности xY [1]. Однако полученные в результате цвета являются физической абстракцией и выполняют лишь вспомогательную математическую роль.

В качестве примера по расчету координат цветности произвольно были выбраны светодиоды разных цветов: красного ($\lambda_{\text{макс}} = 630$ нм), зеленого ($\lambda_{\text{макс}} = 525$ нм) и синего ($\lambda_{\text{макс}} = 450$ нм). Используя уравнения координат цветности, предложенные МКО, можно построить график зависимости координат цветности x , y , представленный на рис. 1. Данный график включает как координаты цветности светодиодов, входивших в разрабатываемый источник света (белые точки, соединенные прямыми линия-

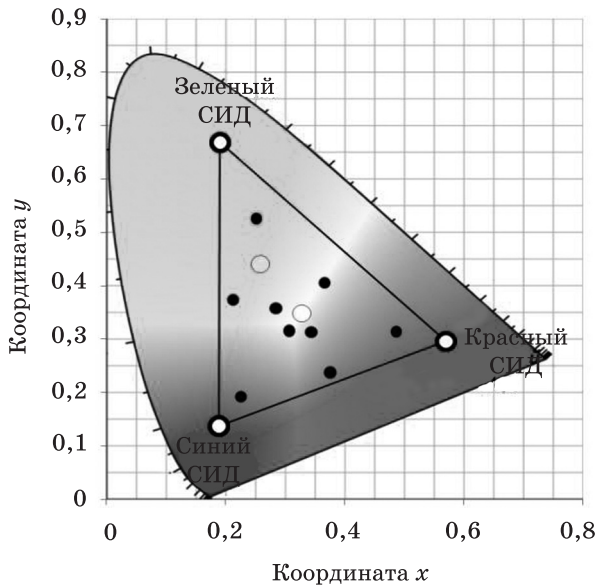


Рис. 1. Координаты цветности разрабатываемого светодиодного источника света. Пояснения в тексте.

ми), так и координаты источника, образованного данными светодиодами (точки внутри треугольника).

Из данного рисунка видно, что цветовое пространство, образованное тремя светодиодами, имеет форму треугольника, при этом значения, полученные для разрабатываемого светодиодного источника, находятся непосредственно внутри образовавшегося треугольника. Можно сделать вывод, что, изменяя значения спектральной мощности излучения, можно получить любую координату цвета, находящуюся в данном треугольнике.

Однако полученные результаты наглядно не отображают распределение цвета (цветовой картины) по исследуемой зоне. Для расчета и создания реального цветного источника света помимо цветовой и спектральной составляющих необходимо учитывать другие факторы, такие как параметры питания, пространственное распределение освещенности по зоне анализа, трехмерные индикатрисы излучения светодиодов, вошедших в разрабатываемый источник, и др. Разберем эти параметры более подробно.

Как известно, действительное излучение светодиода имеет сложные по форме пространственные характеристики, которые различаются в зависимости от способа изготовления светодиода, формы линзы (если она имеется), наличия люминофора и т.д. Для решения данных проблем были построены две модели (пред-

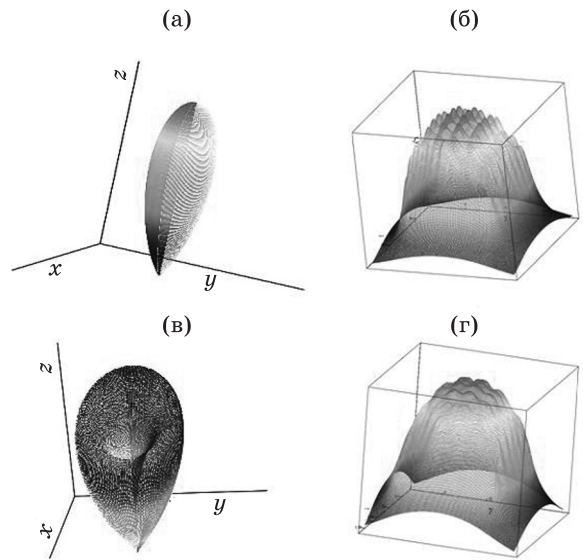


Рис. 2. Диаграммы пространственного распределения освещенности, образованные функцией Ламберта. Пояснения в тексте.

ставлены на рис. 2), описывающие пространственное распределение освещенности.

На рис. 2а, 2б представлен классический случай, когда распределение освещенности в зоне анализа имеет форму “колокола”. За основу данной модели была взята функция Гаусса. На рис. 2в, 2г представлена модель с энергетическим провалом в центре. Для создания данной модели использовалась функция косинусов [3, 4]. На рис. 2 представлены трехмерные модели индикатрисы излучения для классического случая (а); распределения освещенности, создаваемой многоэлементным источником излучения, по зоне анализа для классического случая (б); индикатрисы излучения для энергетического провала (в); распределения освещенности, создаваемой многоэлементным источником излучения, по зоне анализа для энергетического провала (г). Заметим, что при разработке моделей, представленных на рис. 2, цветовые параметры (особенности) как излучателей, вошедших в источник, так и всего источника не учитывались.

Далее рассмотрим параметры, связанные с питанием многокомпонентного источника света. В качестве примера смоделируем источник света, состоящий из 81 светодиодного источника (красного, зеленого и синего цветов), элементы которого расположены в сотовом порядке друг относительно друга. В результате смешивания трех основных цветов должен получиться белый цвет, для чего необходимо

добиться равномерности в распределении освещенности, что достигается с помощью подбора параметра питания для каждого излучающего элемента. Так как при моделировании используются светодиоды трех цветов, разделим данный источник на три цветных канала, а каждый канал – на светодиоды, имеющие схожие значения тока питания (I). Модель цветового канала представлена на рис. 3.

На рис. 3 можно заметить, что зеленый канал цветности (б) имеет более выраженную эллипсоидную форму, чем два другие. Кроме того, излучающие элементы в данном канале расположены непосредственно по центру излучающей площадки, в отличие от двух других каналов. Отсюда можно сделать вывод, что распределение освещенности в зеленом канале является более симметричным и равномерным. На этом же рисунке видно, что красный (а) и синий (б) каналы цветности являются “зеркальной проекцией” друг друга. Значение поправочных коэффициентов питания для данного случая представлены в табл. 1.

Учитывая параметры и характеристики, рассмотренные выше, можно получить (смоделировать) различные цветовые картины для разных типов источников (например, с разным расположением или количеством излучателей, с разным цветом излучения или с различными

Таблица 1. Поправочные коэффициенты питания

№ группы	Цветовой канал		
	R (а)	G (б)	B (в)
1	I_1	I_2	I_3
2	$1,03 I_1$	$1,01 I_2$	$1,09 I_3$
3	$1,06 I_1$	$1,03 I_2$	$1,18 I_3$
4	$1,11 I_1$	$1,07 I_2$	$1,29 I_3$
5	$1,16 I_1$	$1,12 I_2$	$1,59 I_3$
6	$1,19 I_1$	$1,35 I_2$	$1,64 I_3$
7	$1,23 I_1$	$1,46 I_2$	$1,7 I_3$
8	$1,44 I_1$	$1,59 I_2$	$2 I_3$

значениями питания и т.д.). В качестве примера на рис. 4 приведены цветовые картины зоны анализа, создаваемые цветным источником с разной структурой, при различных расстояниях до источника (табл. 2).

Для проверки полученных теоретических моделей в лаборатории кафедры ОЭП СПбНИУ ИТМО был собран макет многоэлементного цветного светодиодного источника света и проведен эксперимент по его исследованию. Эксперимент проводился на установке, структурная

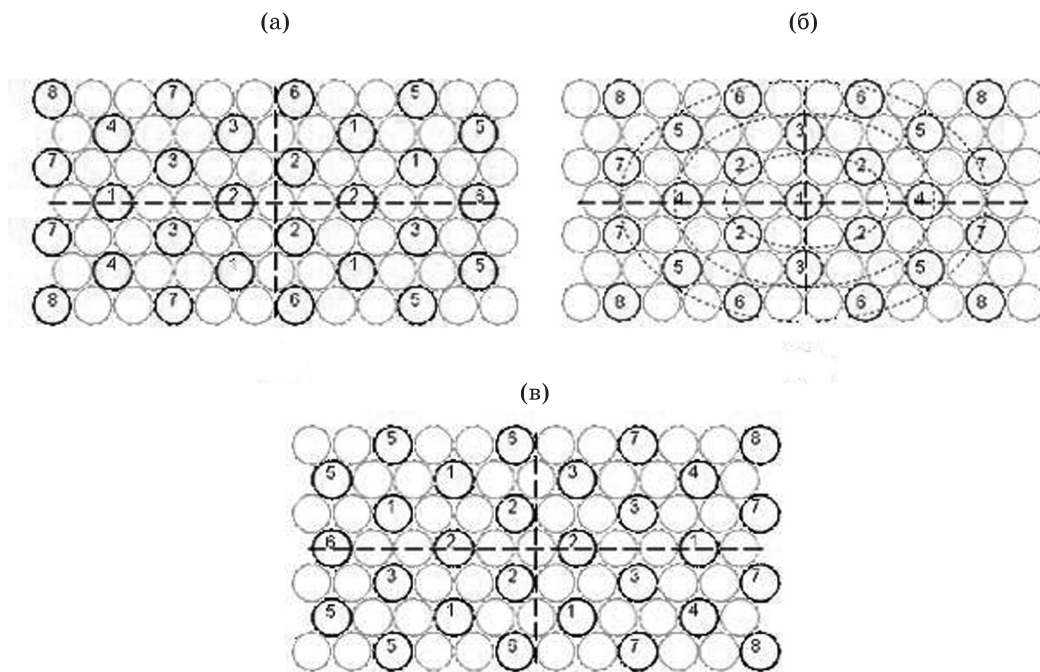


Рис. 3. Моделирование многокомпонентного светодиодного RGB-источника по мощности распределения красного (а), зеленого (б) и синего (в) светодиодов в этом источнике.

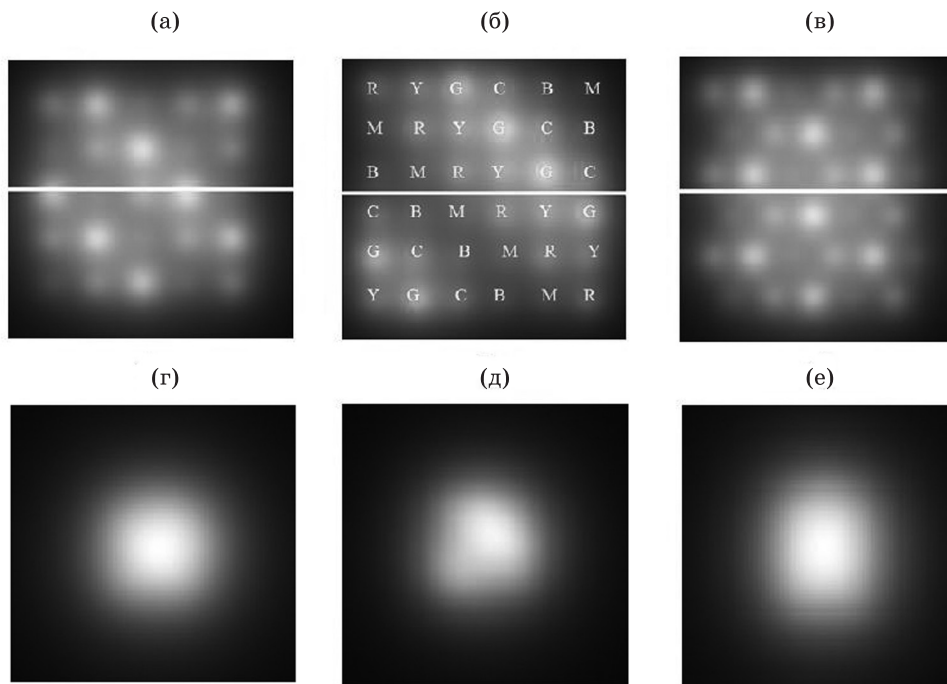


Рис. 4. Цветовые картины зоны анализа, создаваемые цветным источником. Пояснения в тексте.

схема которой представлена на рис. 5. Источник находился на расстоянии 100 мм от исследованной зоны размером 200×200 мм. Во время проведения эксперимента установка находилась в фотометрической камере.

Макет многоэлементного светодиодного источника подключался как к блоку управления, так и к блоку питания. Параллельно источнику был размещен аппаратно-программный комплекс (АПК) для измерения протяженных источников (АПК ИПИ) [5]. В качестве основных элементов предлагаемой системы использова-

лись три линейные моторизованные платформы, расположенные под углом 90° друг к другу. Измерение цветовых и спектральных характеристик излучения производилось с помощью спектрометра. Результатом сканирования указанной области являются цветовые характеристики излучения исследуемого источника света в зоне анализа. Обработка данных осуществлялась с помощью персонального компьютера (ПК). Полученные на установке цветовые параметры представлены в виде графиков цветности (рис. 6).

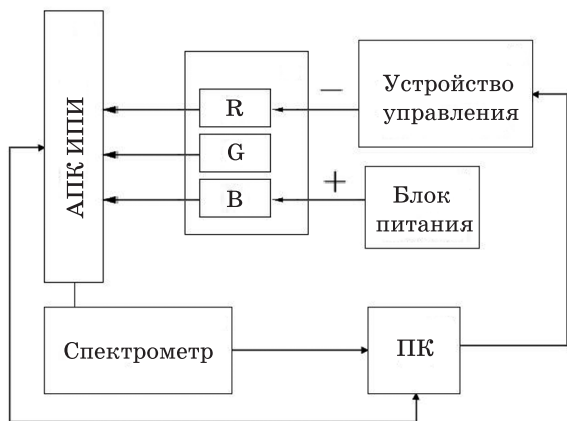


Рис. 5. Структурная схема экспериментальной установки.

Таблица 2. Способы получения цветных картин

Вариант	Структуры	Расстояние до источника, мм
а	Регулярная	100
б	Регулярная шестицветная	
в	Сотовая	
г	Регулярная	10
д	Регулярная шестицветная	
е	Сотовая	

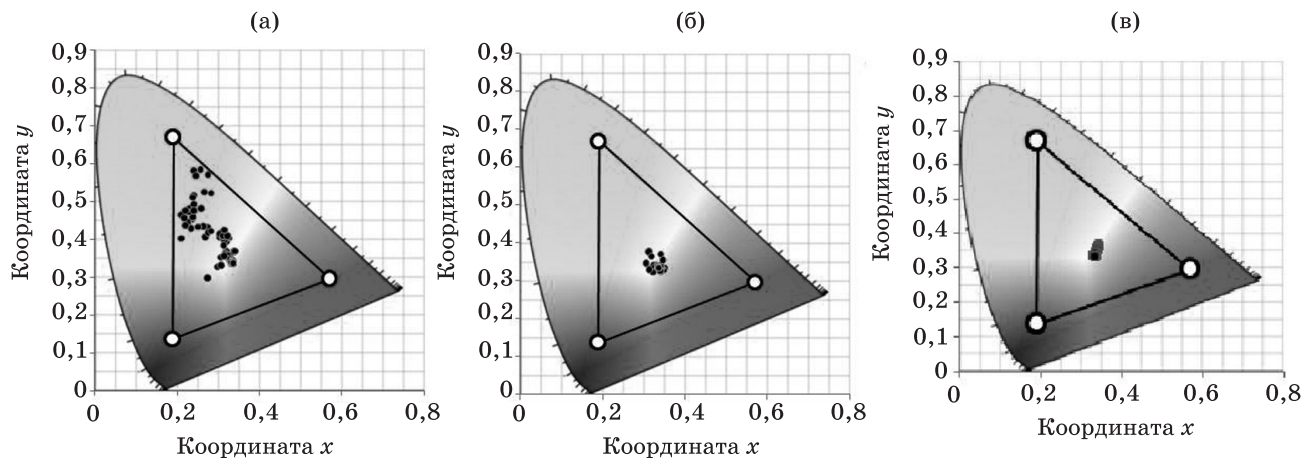


Рис. 6. Координаты цветности разрабатываемого макета светодиодного источника света. Пояснения в тексте.

При этом рассматривались 3 случая: а – на светодиоды подавались максимальные значения питания, указанные в технической документации; б – все светодиоды получали одинаковое питание; в – использовались поправочные коэффициенты, рассмотренные выше.

Из рис. 6 видно, что при использовании данных поправочных коэффициентов можно получить белый цвет, созданный многоэлементным источником излучения. Кроме того, из всех представленных данных можно сделать вывод, что для получения (моделирования) различных цветных картин, образованных реальными многоэлементными источниками излучения, необходимо учитывать не только цветные, но и

пространственные, энергетические, спектральные и др. составляющие.

Представленная в данной статье методика формирования цветовой картины учитывает основные законы формирования как светового потока, так и цветных картин для различных типов источников излучения, и может быть использована при разработке или аттестации качества

- источников излучения на производстве;
- многоэлементных источников излучения (линейных, круговых и т.д.) для высокоточных оптико-электронных систем;
- адаптивных (меняющих спектральные и цветовые характеристики) источников освещения, используемых при цветовом анализе различных объектов.

* * * * *

ЛИТЕРАТУРА

1. Кириллов Е. А. Цветоведение. Учебное пособие для вузов. М.: Легпромбытиздат, 1990. 128 с.
2. Горбунова Е.В., Перetyagin В.С., Чертов А.Н. Организация освещения рабочей зоны оптико-электронных систем цветного анализа промышленного назначения. Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. № 3 (73). 2011. С. 140–141.
3. Горбунова Е.В., Лапманов О.Ю., Перetyagin В.С. Многоэлементный цветной источник излучения. Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. № 5 (81). 2012. С. 154–156.
4. Aleksandr N. Chertov, Elena V. Gorbunova, Valery V. Korotaev, Vladimir S. Peretyagin, Maria G. Serikova. Simulation of the multicomponent radiation source with the required irradiance and color distribution on the flat illuminated surface. Proc. SPIE. 2012. V. 8429. P. 8429OD-1–8429OD-8.
5. Elena V. Gorbunova, Vladimir S. Peretyagin, Aleksandr N. Chertov. Automated hardware-software system for LED's verification and certification // Proc. SPIE. 2013. V. 8788.