

положения оптических элементов панкратической системы расчетному при изменениях увеличения [1]. Для выполнения задачи построения высококачественного изображения требуется применять стекла с оптическими параметрами достигающими первой категории показателя преломления и коэффициента дисперсии, а поверхности таких оптических элементов должны иметь допусковую сферичность – N не более 3 и поле допуска формы – ΔN не более 0,3.

Изготовление таких оптических элементов весьма дорогостояще и трудозатратно, особенно для оптических элементов больших габаритных размеров – более 40 мм в диаметре, а также требует применения сложных и продолжительных технологических процессов при изготовлении оптической системы – индивидуальный пооперационный контроль параметров оптических элементов и специальные способы установки оптических элементов в корпус оптической системы.

Однако даже при соблюдении всех параметров – качество изображения на больших увеличениях не будет достигать дифракционных пределов.

Одним из путей решения данной проблемы является применение при расчете оптических систем элементов с дифракционными поверхностями [2]. Расчетные параметры ЧКХ для панкратических прицелов 5–25 без и с применением оптического элемента с дифракционной поверхностью представлены на рис. 1.

На рис. 1 показаны графики панкратических прицелов при увеличении изображения 25 крат по оптической оси прицела. Из графиков прекрасно

видно, что применение дифракционного элемента позволяет повысить контраст изображения панкратического прицела в 1,5–2 раза при разрешающей способности 1–2 штр/мрад.

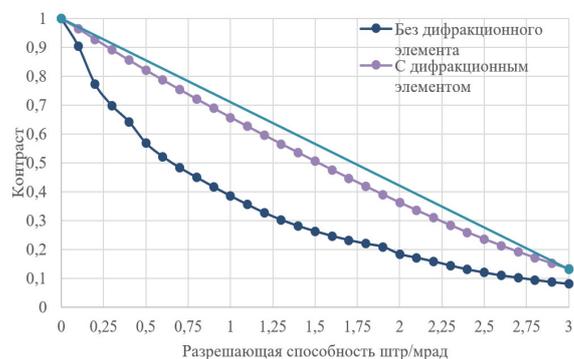


Рисунок 1 – Графики панкратических прицелов при увеличении изображения 25 крат по оптической оси прицела

Литература

1. Заварзин, В. А. Оптический прицел переменного увеличения / В. А. Заварзин // Вестник московского государственного технического университета им. Баумана. Серия «Приборостроение». – 2009. – С. 11–21.
2. Степанов, С. А. Компьютерный расчет оптических систем в области аббераций высших порядков // Компьютерная оптика / С. А. Степанов, Г. И. Грейсух // Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева» (Самарский университет). – 1996. – С. 9–12.

УДК 628.938, 628.981

СВЕТОДИОДНЫЕ МОДУЛИ ДЛЯ СТАНДАРТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ДНЕВНОГО СВЕТА СЕРИИ «D»

Цвирко В.И., Острцов Е.Ф., Трофимов Ю.В., Лишик С.И.

Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Представлены результаты моделирования и исследований источников света, со спектрами близкими к стандартным осветителям серии «D». В качестве исходных излучателей были использованы коммерческие светодиоды в комбинации с люминофорными композициями. Разработан и исследован экспериментальный образец светодиодного модуля, близкий к стандартному осветителю D65, который может быть использован для контроля цвета в промышленности.

Ключевые слова: светодиод, люминофор, стандартный осветитель серии «D», индекс цветопередачи.

LED MODULES FOR STANDARD DAYLIGHT "D" SERIES ILLUMINANTS

Tsvirka V., Ostretsov E., Trofimov Y., Lishik S.

SE «Center of LED and Optoelectronic Technologies of National Academy of Sciences of Belarus»
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The results of modeling and research of light sources with spectra similar to standard "D" series illuminants are presented. Commercial light-emitting diodes in combination with phosphor compositions were used as initial emitters. An experimental sample of the LED module, close to the standard D65 illuminant, has been developed and studied, which can be used for color control in industry.

Key words: LED, phosphor, standard "D" series illuminant, color rendering index.

Адрес для переписки: Цвирко В.И., Логойский тракт, 20, Минск 220090, Республика Беларусь
e-mail: vitalii.tsvirko@gmail.com

Стандартные источники света серии «D» (D50, D55, D65) используются для контроля цвета в полиграфии и промышленности. Ранее для создания стандартных источников света (ИС) серии «D» использовали гибридный подход (комбинация монохромных светодиодов, галогенных ламп и интерференционных фильтров) [1] или комбинацию коммерческих монохромных и белых светодиодов [2].

Нами предложен и успешно опробован способ создания ИС типа D65 на основе коммерческих светодиодов и люминофорных композиций. Использование люминофорных композиций позволяет более аккуратно проводить корректировку спектра излучения комбинации светодиодов с различными спектральными распределениями излучения. С этой целью были изготовлены около 30 образцов светодиодов на основе коммерческих синих, белых светодиодов и люминофорных композиций с зеленым, желтым и красным люминофорами и исследованы их характеристики ($t_c = 25^\circ\text{C}$, 105 мА).

Созданный светодиодный модуль (СМ) позволяет наиболее близко воспроизводить спектральную характеристику стандартного ИС CIE D65 в диапазоне длин волн от 400 нм до 660 нм, см. рис. 1. Расчетная модель ИС «D65» строилась на основе сложения экспериментальных данных шести моделей светодиодов с различными люминофорными композициями. Экспериментальный образец СМ создан на базе 36 светодиодов с типоразмером корпуса 30×30, компактно установленных на алюминиевой печатной плате, см. рис. 2. СМ имеет два вывода для подключения питания.

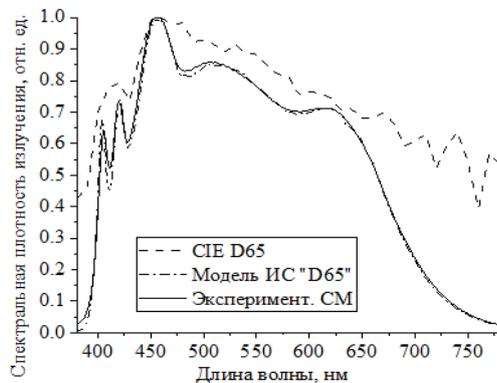


Рисунок 1 – Спектральные распределения излучения расчетной модели СМ, экспериментального образца СМ и стандартного ИС CIE D65

Рабочий ток изготовленного СМ составляет 700 мА, потребляемая мощность СМ – около 13 Вт; световой поток – 1300 лм; коррелированная цветовая температура – 6578 К; координаты цветности $x = 0,3116$, $y = 0,3272$; общий индекс цветопередачи $R_a = 98,7$; частные индексы цветопередачи: $R_1 = 98,1$; $R_2 = 98,8$; $R_3 = 99,4$; $R_4 = 98,3$; $R_5 = 98,4$; $R_6 = 98,1$; $R_7 = 99,0$; $R_8 = 99,3$; $R_9 = 98,8$; $R_{10} = 97,6$; $R_{11} = 96,7$; $R_{12} = 97,1$; $R_{13} = 98,1$; $R_{14} = 99,3$; $R_{15} = 98,8$; $R_{16} = 98,3$.

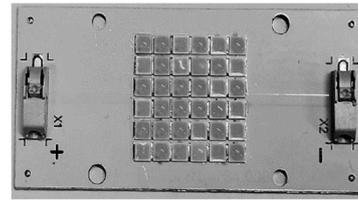


Рисунок 2 – Фотография экспериментального образца СМ для стандартного ИС D65

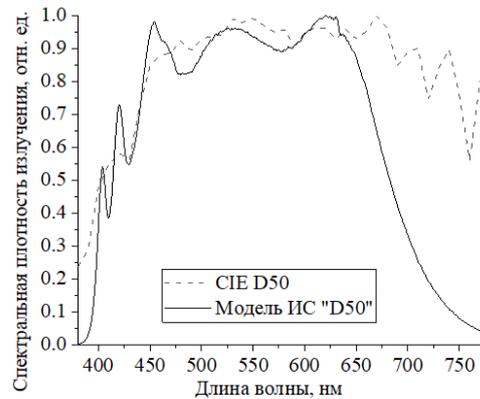


Рисунок 3 – Спектральные распределения излучения расчетной модели ИС «D50» и стандартного ИС CIE D50

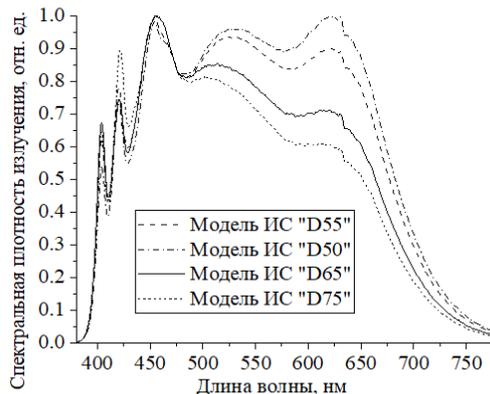


Рисунок 4 – Спектральные распределения излучения расчетных моделей ИС серии «D»

Полученные значения цветовых параметров говорят о высокой степени соответствия изготовленного СМ требованиям, предъявляемым к стандартному ИС типа D65.

Используя аналогичный набор светодиодных компонент и при условии сохранения общего количества светодиодов в СМ были рассчитаны спектральные распределения излучения модельных ИС близких к стандартным ИС D50, D55 и D75. В табл. 1 приведены значения общего и частных индексов цветопередачи модельных ИС. Для примера на рис. 3 приведены спектральные распределения излучения расчетной модели ИС «D50» и стандартного ИС CIE D50. Сравнение этих зависимостей позволяет говорить о высокой воспроизводимости расчетной модели ИС спектра ИС CIE D50 в диапазоне длин волн от 400 нм до 660 нм.

Таблица 1. Индексы цветопередачи модельных СИ для различных СИ серии «D»

Обозначение характеристики	СИ «D50»	СИ «D55»	СИ «D65»	СИ «D75»
Ra	98,8	98,2	99,1	99,4
R1	98,7	98,7	99,1	99,4
R2	98,8	98,7	99,5	99,9
R3	99,8	97,4	99,1	99,0
R4	99,2	97,1	99,1	99,2
R5	99,2	99,1	99,4	99,6
R6	98,2	98,3	98,8	99,2
R7	98,0	98,2	99,1	99,6
R8	98,1	98,2	98,6	99,1
R9	96,7	96,2	96,4	97,4
R10	98,1	97,3	98,8	99,5
R11	98,2	95,9	97,5	97,7
R12	94,0	98,2	96,2	96,9
R13	98,2	98,7	99,2	99,3
R14	99,4	98,3	99,4	99,3
КЦТ	5000	5500	6500	7550

На рис. 4 приведены спектральные распределения излучения расчетных моделей СИ серии «D», характеристики которых приведены в табл. 1.

Использованный нами подход позволяет разработать СИ, близкие к стандартным СИ серии «D», используя от 5 до 6 моделей светодиодов, на которые наносится 3 варианта люминофорных композиций на основе бирюзового, зеленого и красного люминофоров.

Таким образом возможно создание светодиодных модулей со спектрами, близкими к стандартным СИ серии «D» для задач колориметрии по разработанной нами технологии спектральной модификации светодиодов. Разработанные светодиодные модули могут найти применение для изготовления осветительных устройств, предназначенных для контроля цвета в промышленности.

Литература

1. Арапов, С. Ю. Гибридный лабораторный источник света для полиграфии, спектрально близкий к стандартным излучателям "D" / С. Ю. Арапов, С. П. Арапова, А. Г. Тягунов // Светотехника. – 2016. – № 2. – С. 24–28.
2. Мезенцева, С. Г. Автономный мобильный источник света для визуального цветового контроля / С. Г. Мезенцева, А. Н. Тюменев, С. Ю. Арапов // Южно-Сибирский научный вестник. – 2020. – № 4 (32). – С. 3–7.

УДК 681.785.554

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСА «ВИЗИР»

Цикман И.М., Бручковский И.И., Литвинович Г.С., Попков А.П.

НИУ «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» БГУ
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Работа посвящена модернизации комплекса «Визир» для измерения двунаправленных коэффициентов отражения, включающей изменение оптической схемы регистрации отраженного оптического сигнала, в результате чего в несколько раз удалось повысить точность измерений двунаправленных коэффициентов отражения на проблемных участках – краях спектральных диапазонов спектрометров, используемых для регистрации данных.

Ключевые слова: коэффициент спектральной яркости, поле зрения, спектрометр.

UPGRADING OF THE «VIZIR» INSTRUMENT Tsykman I., Bruchkouski I., Litvinovich H., Popkov A.

A.N. Sevchenko Scientific-Research Institute of Applied Physics Problems BSU
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The work is dedicated to the upgrading of the instrument "VIZIR" for measuring bidirectional reflectance function including a changes in it's optical scheme for recording an optical signal, as a result of which it was possible to increase the accuracy of measuring bidirectional reflection function in several times for the problem areas - the edges of the spectral ranges of spectrometers used for data recording.

Key words: bidirectional reflectance function, field of view, spectrometer.

Адрес для переписки: Цикман И.М., ул. Курчатова, 7, Минск 220045, Республика Беларусь
e-mail: tsik02@bsu.by

Комплекс «Визир» [1] предназначен для измерения пространственного распределения спектральной яркости отражающей поверхности объектов природного или искусственного происхождения в спектральном диапазоне 0,35–2,5 мкм. При измерении спектральных отражательных ха-

рактеристик поверхности выполняется регистрация относительной величины отраженного излучения от объекта исследования (L) и от эталонной Ламбертовской поверхности (L_{MC}), в качестве которой используется пластина из молочного стекла марки MC-20 толщиной 10 мм. Коэффициент