

точность, так и на производительность обработки. Поэтому на практике можно принимать средние значения этих параметров.

Проведенные исследования производительности и качества обработки конических поверхностей при попарном изменении принятых в нашем случае регулируемых параметров показали, что из возможных различных их комбинаций наиболее выгодно назначать сочетание «частота вращения конуса – эксцентриситет между осями симметрии инструмента и планшайбы».

#### Литература

1. Карасик, В.Е. Лазерные системы видения / В.Е. Карасик, В.М. Орлов. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 352 с.
2. Устройство для обработки деталей с коническими поверхностями: патент РБ 17104 / А.С. Козерук [и др.].
3. Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фіз.-тэхн. навук. – 2021. – Т. 66, № 4. – С. 441–450.
4. Устройство для групповой обработки деталей с коническими поверхностями: патент РБ 21163 / А.С. Козерук [и др.].

УДК 535.6:681.628.94:681.7.069.2

### СВЕТОДИОДНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ИМИТАТОРА ДНЕВНОГО СВЕТА D50

Цвирко В.И., Острецов Е.Ф., Лишик С.И.

*Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси  
Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Проведено моделирование спектра излучения светодиодного модуля для имитатора дневного света D50 на основе коммерческих светодиодов и люминофорных композиций, наносимых на светодиоды. Результирующий спектр имитатора дневного света был сформирован с использованием экспериментальных спектральных распределений излучения семи источников света, изготовленных на основе коммерческих ультрафиолетовых, синих, белых светодиодов и люминофорных композиций с зеленым и красным люминофорами. Проведена оценка соответствия ряда характеристик разработанного имитатора дневного света D50 требованиям стандарта ISO 3664:2009.

**Ключевые слова:** светодиод, стандартный источник света, индекс цветопередачи, индекс метамеризма.

### LED MODULE FOR DAYLIGHT SIMULATOR D50

Tsvirka V., Ostretsov E., Lishik S.

*SE "Center of LED and Optoelectronic Technologies of National Academy of Sciences of Belarus"  
Minsk, Republic of Belarus*

**Abstract.** The emission spectrum of an LED module was simulated for a D50 daylight simulator based on commercial LEDs and phosphor compositions applied to the LEDs. The resulting spectrum of the daylight simulator was formed using experimental spectral radiation distributions of seven light sources made on the basis of commercial ultraviolet, blue, white LEDs and phosphor compositions with green and red phosphors. The compliance of a number of characteristics of the developed D50 daylight simulator with the requirements of the ISO 3664:2009 standard was assessed.

**Key words:** LED, standard light source, colour rendering index, metamerism index.

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

Имитаторы дневного света (ИДС) D50 используются в полиграфической промышленности для визуальной оценки цвета. Ранее для создания ИДС использовали гибридный подход (комбинация монохромных светодиодов, галогенных ламп и интерференционных фильтров) [1] или комбинацию коммерческих монохромных и белых светодиодов [2].

Ранее нами был предложен и успешно опробован способ создания светодиодного ИДС типа D65 на основе коммерческих светодиодов и люминофорных композиций [3]. Созданный светодиодный модуль (СМ) для ИДС D65 наиболее близко воспроизводил спектральную характеристику ИДС D65 в диапазоне длин волн от 400 нм до 660 нм, благодаря чему практически все требования к спектральным характеристикам ИДС

D65, изложенные в публикации МКО № 51.2, были выполнены, за исключением индекса метамеризма ультрафиолетового диапазона, который составил 4,5. Это не позволяет использовать разработанный ранее ИДС D65 для работы с флуоресцирующими материалами.

Современные требования к спектральному распределению энергии ИДС D50 изложены в стандарте ISO 3664:2009 (Условия просмотра. Полиграфия и фотография), который на территории стран СНГ введен в действие только на территории Республики Казахстан под наименованием СТ РК ISO 3664-2017. В качестве эталонного источника света для полиграфии принято спектральное распределение энергии стандартного источника света МКО D50 (согласно публикации МКО № 15), которое представляет собой

одну из фаз естественного дневного света с коррелированной цветовой температурой около 5000 К.

Согласно ISO 3664:2009 ИДС должен удовлетворять требованиям по следующим характеристикам: координаты цветности (отклонение не более 0,005 от точки (0,21015; 0,48886)), общий ( $R_a > 90$ ) и частные индексы цветопередачи ( $R1-R8$ , более 80), индекс метамеризма видимого диапазона и индекс метамеризма ультрафиолетового диапазона. Требования к значениям индексов метамеризма ИДС ранжированы согласно ISO/CIE 23603:2005 по категорийной шкале с диапазоном от класса «А» (лучший) до класса «Е» (худший). Согласно ISO 3664:2009 по индексу метамеризма видимого диапазона допустимо применение ИДС класса С или лучше, но рекомендуется класс В или лучше, а по индексу метамеризма ультрафиолетового диапазона допускается ИДС со значением ниже 1,5 (по системе CIELAB), но рекомендуется значение менее 1,0, что соответствует классу С или лучше. Таким образом рекомендуется к использованию класс ВС или лучше.

В настоящей работе мы выполнили моделирование спектра излучения светодиодного модуля для ИДС D50 с учетом индексов метамеризма, рассчитанных в цветовой системе CIELAB. В качестве спектральных компонент для ИДС мы использовали коммерческие светодиоды и люминофорные композиции, наносимые на светодиоды. Применение люминофорных композиций позволяет более аккуратно проводить корректировку спектра излучения комбинации светодиодов с различными спектральными распределениями излучения.

Для моделирования спектров ИДС D50 были использованы теоретические и экспериментальные спектральные распределения излучения около 20 образцов источников света на основе коммерческих ультрафиолетовых, синих, белых светодиодов и люминофорных композиций с зеленым и красным люминофорами. На рисунке 1 приведен результирующий спектр ИДС D50, который удалось сформировать на основе семи типов светодиодных источников света.

Расчетные характеристики модели ИДС следующие: коррелированная цветная температура – 5050 К; координаты цветности  $u'_{10} - 0,2113$ ,  $v'_{10} - 0,4886$ ; общий индекс цветопередачи  $R_a - 98,1$ ; частные индексы цветопередачи:  $R1 - 97,4$ ;  $R2 - 98,5$ ;  $R3 - 98,5$ ;  $R4 - 97,2$ ;  $R5 - 97,7$ ;  $R6 - 97,3$ ;  $R7 - 99,2$ ;  $R8 - 99,2$ , индекс метамеризма видимого диапазона – 0,40, индекс метамеризма ультрафиолетового диапазона – 0,30.

На рисунке 2 приведены значения 14-ти частных индексов цветопередачи модели ИДС для демонстрации высоких значений индексов цветопередачи насыщенных цветов ( $R9-R14$ ).

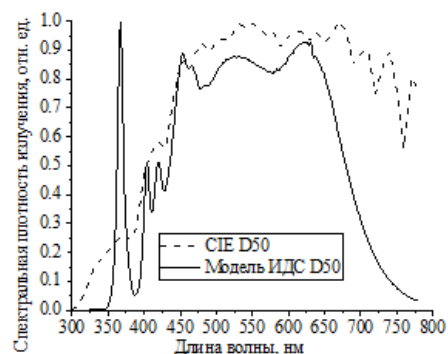


Рисунок 1 – Спектральные распределения излучения расчетной модели светодиодного модуля для ИДС D50 и стандартного источника света МКО D50

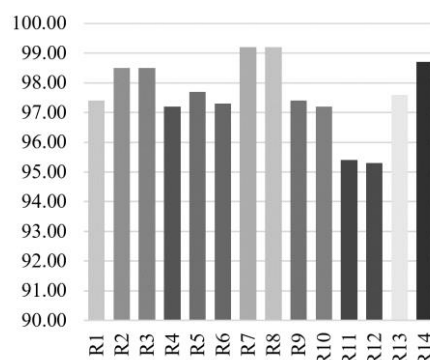


Рисунок 2 – Частные индексы цветопередачи модели светодиодного модуля для ИДС D50

Полученные значения характеристик модели ИДС соответствуют классу ВВ, что полностью удовлетворяет требованиям ISO 3664:2009, предъявляемым к спектральному распределению излучения ИДС типа D50.

Таким образом возможно создание ИДС типа D50 для полиграфической промышленности на основе коммерческих светодиодов по разработанной нами технологии спектральной модификации светодиодов. Использование люминофорных композиций позволяет более аккуратно проводить корректировку спектра излучения.

#### Литература

1. Гибридный лабораторный источник света для полиграфии, спектрально близкий к стандартным излучателям «D» / С.Ю. Арапов [и др.] // 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.
3. Светодиодные модули для стандартных источников света серии «D» / В.И. Цвирко [и др.] // «Приборостроение – 2022»: материал. 15-й Междунар. научн.-техн. конф., Минск, Беларусь, 16–18 ноября 2022 г. – Минск, 2022. – С. 415–417.