

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ ИСТОЧНИК ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Солодова М.С., Арапова С.П., Арапов С.Ю., Тарасов Д.А.

ФГАОУ ВПО УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт радиоэлектроники и информационных технологий – РТФ

Представлен лабораторный источник света, спектральный состав которого близок к стандартным осветителям серии D, состоящий из галогенной лампы с интерференционным фильтром и светодиодных излучателей, рабочие значения коррелированной цветовой температуры (CCT) которого могут варьироваться от 5000 до 6500 К. Описаны автоматизированная система управления световыми потоками на основе показателя GFC (Goodness Fitting Coefficient) и полученные характеристики источника.

Ключевые слова: галогенная лампа, интерференционный фильтр, ультрафиолетовый и белый светодиоды, искусственный источник дневного света, визуальный контроль, управление световыми потоками, контроллер.

AUTOMATED LABORATORY LIGHT SOURCE FOR COLORIMETRIC RESEARCH

Solodova M.S., Arapova S.P., Arapov S.Y., Tarasov D.A.

Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Institute of Radioelectronics and Information Technologies

Presents laboratory light source, the spectral composition of which is similar to the standard lighting D-series consisting of halogen lamp with an interference filter and led emitters, operating values correlated color temperature (CCT) which can vary from 5000 to 6500 K. Described automated control system of light flows on the basis of average GFC (Goodness Fitting Coefficient) and the resulting characteristics of the source.

Keywords: halogen lamp, an interference filter, UV and white LEDs, an artificial source of daylight, visual control, control of light flow controller.

Введение

В соответствии с нормами стандарта ISO 3664:2009 [10] предъявляются специальные требования к характеристикам источника света — коррелированной цветовой температуре (CCT) и индексу цветопередачи (R_a). В полиграфии распространены люминесцентные лампы с коррелированной цветовой температурой (CCT) 5000–5500 К и высоким индексом цветопередачи (R_a) порядка 95–97. В последнее время для просмотровых устройств широко применяют светодиодные источники (LED) и светодиодные модули с системой управления спектральными составляющими [2–4, 7, 13]. Этот подход имеет существенный недостаток — при достаточно высоком R_a , спектр люминесцентных и светодиодных ламп далек от естественного света. Возникла актуальная задача создания доступного источника освещения, со спектральным распределением, близким к естественному, и допускающему возможность регулирования спектра.

Конструкция автоматизированного лабораторного источника освещения

Конструкция разработанного автоматизированного лабораторного источника освещения для колориметрических исследований представлена на рис. 1.

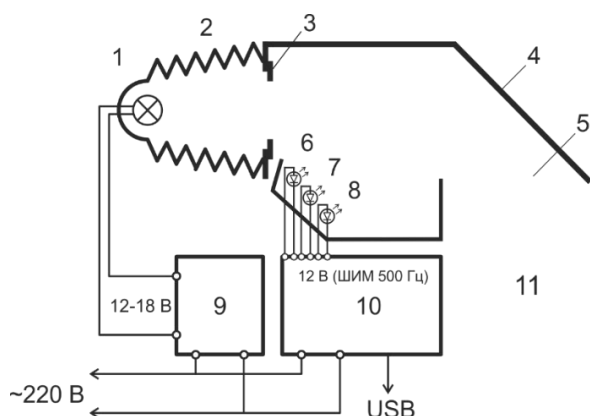


Рис. 1 Конструкция источника: 1 — лампа Decostar 51 Cool Blue; 2 — гофрированный кожух с зачернённой внутренней поверхностью; 3 — регулируемая диафрагма; 4 — диффузный отражатель; 5 — излучающий створ прибора; 6–8 LED излучатели; 9 — блок питания галогеновой лампы; 10 — блок питания LED с контроллером; 11 — рабочая зона источника

Диффузный отражатель предназначен для смешения световых потоков (4 на рис. 1). Конструкция соединения лампы, кожуха и диафрагмы (1, 2, 3 на рис. 1) позволяет выделять из светового потока лампы (1 на рис. 1) излучение с необходимым спектром, а также регулировать поток за счёт приближения к отражателю. Все излучатели снабжены индивидуальными системами охлаждения, не показанными на схеме.

В основе получения желаемого спектрального состава излучения гибридного лабораторного источника света (ГЛИС), лежит смешение потоков от различных излучателей. Исходя из задачи имитации естественного освещения ориентиром был выбран спектр иллюминанта серии D с CCT от 4500 К до 6500 К, а в качестве исходных компонентов — белый и два ультрафиолетовых светодиодных излучателя, а также галогенная лампа Decostar 51 Cool Blue (OSRAM) с интерференционным фильтром. Спектральный состав их излучения хорошо соответствует поставленной задаче (рис. 2).

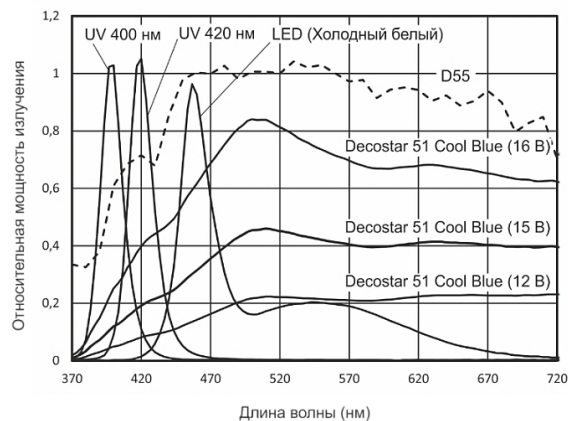


Рис. 2 Спектры излучателей, использованных в работе: UV 400 нм — спектр ультрафиолетового светодиода $S_{UV1}(\lambda)$; UV 420 нм — спектр ультрафиолетового светодиода $S_{UV2}(\lambda)$; LED — спектр холодного белого светодиода $S_{CW}(\lambda)$; Decostar 51 Cool Blue — спектры $S_{DS}(\lambda)$ галогенной лампы с интерференционным фильтром при различных напряжениях питания (указано в скобках). Пунктиром обозначен один из целевых спектров — D55

Галогенная лампа, по сравнению со светодиодными, дает существенно более равномерный спектр. Внедрение технологий нанесения нанопокровтий позволило наладить выпуск галогенных осветителей, снабжённых интерференционными фильтрами по вполне доступным ценам [1]. Проведенные исследования специфических характеристик широко известной и доступной лампы Decostar производства Osram [11], позволили рекомендовать ее для реализованной экспериментальной просмотровой камеры [5, 12] (рис. 3).

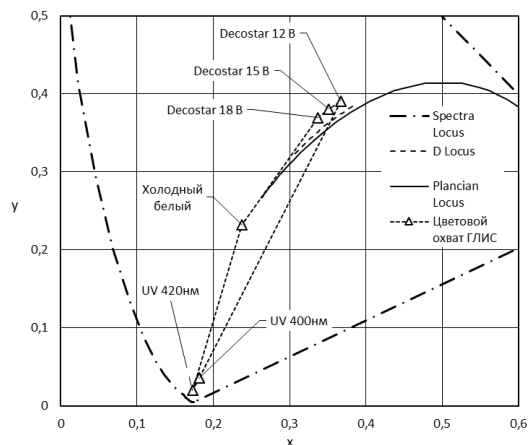


Рис. 3. Цветность компонентов гибридного источника и его цветовой охват

Система управления компонентами источника освещения

Система управления световыми потоками компонентов была реализована на базе широко распространённого контроллера Arduino Uno (AT mega 328P). Возможностей данного контроллера вполне достаточно для решения поставленной задачи, а широкий выбор открытого программного обеспечения и готовых схемотехнических решений существенно упрощает процесс разработки. Подача питания на светодиоды осуществлялась через

высокочастотные мосфеты P16NF06 управляемые от ШИМ выходов контроллера. Частота импульсов ШИМ выходов у Arduino фиксирована и составляет примерно 500 Гц, точность регулировки скважности соответствует восьми разрядам (1/256 общей длительности импульса). Питание галогенной лампы осуществлялось независимым импульсным источником с ручной регулировкой напряжения от 12 В до 18 В, поскольку наиболее подходящие характеристики лампы выдаёт в перекальном режиме.

Одной из причин выбора контроллера Arduino Uno стало наличие открытого пакета ARDUINO IO для управления работой контроллера из среды MATLAB. В этом случае в контроллер загружается программа-монитор, транслирующая поступающие через USB из MATLAB команды на выходы контроллера. В то же время, среда MATLAB чрезвычайно удобна для проведения необходимых расчётов и организации обмена с широким набором различного лабораторного оборудования.

Измерение спектрального состава полученного излучения и отдельных компонентов осуществлялось с помощью распространённого спектрофотометра i1Pro производства X-Rite, в комплексе с открытым программным обеспечением Argyll CMS.

Задача расчета необходимых управляющих воздействий решалась в варианте наилучшего спектрального приближения и, затем, наилучшего совпадения цветности. Для этого использовался критерий минимальности коэффициента качества аппроксимации GFC (Goodness Fitting Coefficient) подробно рассматриваемый в работах [8, 9].

$$GFC = 1 - \frac{(S_D(\lambda), S(\lambda))}{\|S_D(\lambda)\| \cdot \|S(\lambda)\|}, \quad (1)$$

где $S_D(\lambda)$ — целевой спектр излучения, в качестве которого брался спектр осветителя серии D при интересующей CCT; $S(\lambda)$ — спектр гибридного источника; обозначения (\cdot, \cdot) и $\|\cdot\|$ соответствуют традиционным интегральным скалярному произведению и норме в пространстве непрерывных и интегрируемых в квадрате на отрезке $[a, b]$ функций:

$$(f_1(x), f_2(x)) = \int_a^b f_1(x)f_2(x)dx, \quad \|f\| = \sqrt{(f, f)}. \quad (3)$$

Поскольку полученные в результате измерений спектры представляют собой ряды дискретных значений, интегрирование в (3) заменяется матричное умножение соответствующих векторов. С учётом сказанного, выражение (1) по сути представляет собой отличие от единицы косинуса угла между векторами S_D и S в n -мерном пространстве, где n — число спектральных зон в измерении. Нулевое значение GFC означает коллинеарность векторов, и, следовательно, полное совпадение форм спектров (с точностью до константы).

Это очень удобно, поскольку позволяет не учитывать уровень энергетической яркости целевого спектра. Спектр гибридного источника $S(\lambda)$ образуется линейной комбинацией спектров его элементов (рис. 2):

$$S(\lambda) = a_1 \cdot S_{UV1}(\lambda) + a_2 \cdot S_{UV2}(\lambda) + a_3 \cdot S_{CW}(\lambda) + S_{DS}(\lambda). \quad (2)$$

При минимизации GFC (1), подбирались оптимальные значения коэффициентов a_1 , a_2 , a_3 в выражении (2), на основе которых рассчитывались управляющие параметры для ШИМ выходов контроллера, спектр $S_{DS}(\lambda)$ лампы Decostar при этом является опорным. Полученный таким образом спектр измерялся с помощью спектрофотометра и поступал на дальнейшую обработку.

Полученные характеристики источника

Основой для формирования светового потока источника служило излучение лампы Decostar при напряжениях питания 12 В, 15 В и 18 В. В качестве цели для поиска наилучшего спектрального приближения по описанной выше процедуре принимались осветители D65, D60, D55, D50 и D45. Изменение параметров светового потока по мере перехода от ближайшего осветителя D65 к опорному световому потоку лампы Decostar можно наглядно представить в виде траектории изменения цветности на диаграмме $u'v'$ (рис. 4).

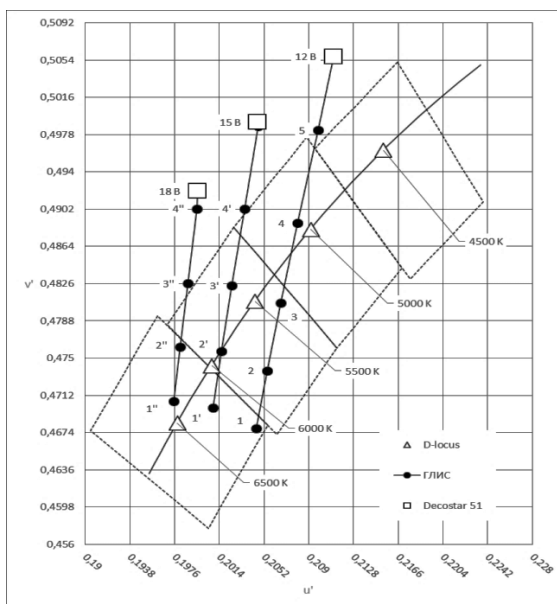


Рис. 4. Траектории изменения цветности источника в зависимости от ССТ целевого иллюминанта D. Точки 1, 1', 1'' — 6500 К; 2, 2', 2'' — 6000 К; 3, 3', 3'' — 5500 К; 4, 4', 4'' — 5000 К; 5 — 4500 К

Выбор данной диаграммы обусловлен возможностью оценки степени визуально воспринимаемых отличий цветности полученного освещения от целевого, при условии совпадения яркости.

Для наглядности на каждой из траекторий имеет смысл рассмотреть спектры в точках, соответствующих наименьшим значениям GFC и ΔE_{uv} . Результат одного из вариантов, спектры и значения показателей совпадения приводятся на рис. 5. При питающем напряжении 12 В наилучшее приближение по цветности достигается в точке 4 и соответствует осветителю D50.

Для данной конструкции лабораторного источника сложно указать универсальный вариант настройки в любых приложениях, требующих подобия светового потока существующему в естественной среде. Наилучшие показатели цветности разработанного источника достигаются не для самых равномерных вариантов спектров. Более того, наилучшие спектральные приближения к стандартным источникам D55, D50 и D45 лежат даже за пределами области, за пределами четырехугольников допустимых отклонений цветности для источников белого цвета по рекомендациям МКО [6].

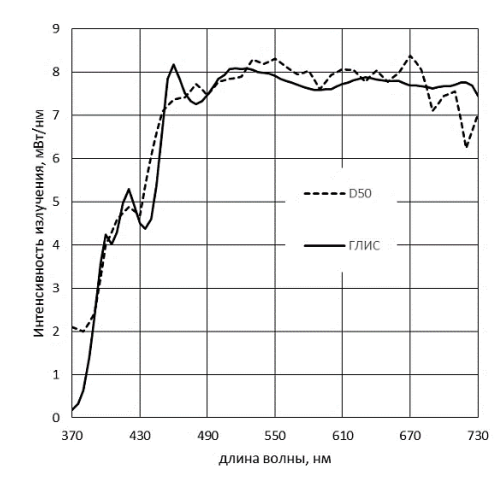


Рис. 5. Напряжение питания Decostar — 12 В, наилучшее совпадение цветности излучения: источник и D50 (точка 4 на Рис. 4). $GFC = 0,0032$, $\Delta E_{uv} = 0,0013$. Освещённость в рабочей зоне ≈ 570 Люкс

Для задач, связанных с субъективным человеческим восприятием, таким как колориметрия и квалиметрия изображений, скорее всего лучше подойдёт вариант с минимизацией цветового различия ΔE_{uv} . Возможно так же использование более сложного компромиссного критерия, например, индекса метамеризма M_v . В то же время для задач, связанных с объективными измерениями такими как мультиспектральная фотография, скорее всего будут удобнее максимально ровные спектры.

Выводы

В результате проделанной работы был создан лабораторный источник света со спектральным составом близким к стандартным осветителям серии D, опробован алгоритм управления на основе минимизации GFC , достигнута определённая гибкость в настройках

цветности, CCT, GFC. К недостаткам можно отнести лишь существенную зависимость уровня освещённости в рабочей зоне источника от целевых параметров цветности и спектра.

Спектральная близость к естественному освещению может быть востребована в ряде специфических приложений, таких как колориметрические исследования, проверка рецептов смесевых красок, оценка термосублимационных оттисков на ткани, широко применяемых в наружной рекламе.

Проводятся исследования явления кларификации color-shift (цветовой сдвиг), заключающееся в увеличении насыщенности цветов при освещении источниками с низким значением индекса цветопередачи. Для этого создана конструкция, состоящая из двух граничащих друг с другом просмотровых зон, снабжённых различными излучателями: источник, максимально приближенный к естественному освещению (ГЛИС) и колориметрический источник, состоящий из RGB-светодиодов. В случае корректной работы реализованных в настоящее время программных решений открывается перспектива направленного использования явления кларификации для расширения цветового охвата печатной продукции и увеличения эффекта от её визуального восприятия.

Разработанный источник был успешно использован для мультиспектральной фотосъёмки [7]. Несмотря на то, что современные профессиональные системы импульсного освещения на ксеноновых лампах дают хороший спектральный состав, разработанный источник обладает лучшей равномерностью спектра. Кроме того, использование постоянного света значительно удобнее в плане организации съёмочного процесса. Упомянутая зависимость освещённости от выбранного значения CCT для фотосъёмки не является существенным недостатком, поскольку легко компенсируется параметрами экспозиции.

Энергоэффективность разработанного лабораторного источника невелика. Очевидными направлениями совершенствования источника являются улучшение конструкции элемента смешения световых потоков и добавление дополнительного элемента — белого светодиода с CCT≈2500–3000 К, который может позволить снизить нагрузку на галогенную лампу, и, возможно, отказаться от перекального режима.

Лучший доклад по итогам конференции «Информационные технологии, телекоммуникации и системы управления»

Список литературы

1. Байнева И.И. – Обзор современных галогенных ламп накаливания, задач и перспектив их развития // Справочник. Инженерный журнал с приложением. – 2014. – № 3 (204). – С. 44–50.
2. Белый сид и белая сид лампа : пат. 2456713 РФ : МПК H01L33/60 (2010.01) / Лоу Манэ (CN), Го Банцзюнь (CN) ; заявитель и патентообладатель Чжэцзян Манелюкс Лайтинг Ко., ЛТД. (CN). – № 2010147626/28 ; заявл. 06.03.2009; опубл. 20.07.2012.
3. Осветительная установка НИСТ с регулируемым спектром для исследований в области цветопередачи / К. Даулинг [и др.] ; пер. с англ. Е.И. Розовского // Светотехника. – 2009. – № 5. – С. 37–40.
4. Полихромные спектрально-перестраиваемые осветительные приборы со светодиодами: опыт разработки и применения / А.В. Аладов [и др.] // Светотехника. 2013. – № 5–6. – С. 34–39.
5. Разработка универсальной просмотровой камеры для квалиметрических исследований в соответствии с ISO 3664:2009 / Д.А. Тарасов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. – 2014. – № 1. – С. 27–36.
6. Рекомендации МКО 15:2004. Колориметрия. – (Colorimetry, 3-rd ed.).
7. Экспериментальный комплекс мультиспектральной фотосъемки на основе стандартной цифровой камеры / С.П. Арапова, С.Ю. Арапов, А.Г. Тягунов // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. – 2014. – № 5. – С. 45–54.
8. Colorimetric and spectroradiometric characteristics of narrow-field-of-view clear skylight in Granada, Spain / Hernández-Andrés Javier [et al.] // JOSA A. – 2001 – V. 18. – № 2. – P. 412–420.
9. Comparative Study of Metrics for Spectral Match Quality / Imai Francisco [et al.] // The First European Conference on Colour Graphics Imaging and Vision., NY, USA. – 2009. – С. 785–792.
10. ISO 3664:2009. Graphic technology and photography – Viewing conditions. – Geneva: ISO. – 2009. – 34 p.
11. Osram [Электронный ресурс] // http://www.osram.com/osram_com/products/lamps/halogen-lamps/decostar/decostar-51-cool-blue/index.jsp.

12. Qualimetric Researches of Educational Resources: Standardizing of Light Conditions in the Light Booth / A.P. Sergeev [et al.]. – INTE 2014 (International Conference on New Horizons 2014), <https://int-e.net/programme.php>. – INTE 2014 Paris, France. – June 25–27, 2014.
13. Quality of LED Based Daylight Simulators / Li Cheng, Li Changjun, Ronnier Luo Ming. – Society for Imaging Science and Technology. – Conference on Colour in Graphics, Imaging, and Vision, CGIV 2006 Final Program and Proceedings, pp. 247–250.