

# Проект по определению фотометрических характеристик осветительных приборов на основе спектрорадиометрических измерений в Испытательном центре «ВНИСИ»\*

А.А. БАРЦЕВ, Р.И. БЕЛЯЕВ, Р.И. СТОЛЯРЕВСКАЯ

ООО «ВНИСИ им. С.И. Вавилова», Москва  
E-mail: bartsev@vnisi.ru

## Аннотация

Предложено метрологическое обеспечение спектрорадиометрического подхода к измерениям световых и цветовых характеристик осветительных приборов (ОП), основанное на сравнении спектрального распределения потока излучения исследуемого ОП, помещённого в интегрирующую сферу, со спектральным распределением облучённости от эталонной измерительной лампы, рассматриваемой в качестве внешнего по отношению к этой сфере источника излучения.

**Ключевые слова:** эталонная измерительная лампа, спектральное распределение потока излучения, спектральная плотность облучённости, коэффициент спектральной коррекции, интегрирующая сфера, гониофотометр, фотометрическое тело

## 1. Введение

В последнее время в фотометрических и колориметрических измерениях в испытательных лабораториях и центрах тестирования получили широкое распространение мини-спектрометры на основе ПЗС-матриц. В первую очередь это связано со спектральными характеристиками современных ОП и источников света для них. Например, спектры ОП со светодиодами (СД) существенно отличаются от спектра источника типа «А», который является основным для калибровки интегральных средств измерения световых и цветовых характеристик ОП, таких как фотометры и фотометрические головки, люксметры и колориметры. При применении

интегральных средств измерения для получения характеристик современных ОП с СД необходимо определять коэффициент коррекции (коэффициент исправления) [1, 2] для каждой  $V(\lambda)$ -головки и каждого канала колориметра, а это сложная процедура, особенно в условиях испытательных лабораторий с большим объёмом тестов и разнообразием спектров излучения измеряемых ОП.

В международной практике при разработке стандартов [3] и измерительных приборов всё более популярным становится спектрорадиометрический подход. В Азии, Европе и США выпускаются гониофотометры и интегрирующие сферы, оборудованные мини-спектрометрами на основе ПЗС-матриц.

Однако есть определённые проблемы использования подобных мини-спектрометров [4], которые, в основном, связаны с рассеянным светом, точностью установки длины волны и калибровкой средства измерения, т.е. с методом и способом измерения спектрального распределения характеристики излучения ОП [5].

Ещё одна проблема применения мини-спектрометров связана с практическим отсутствием на мировом рынке стандартных измерительных ламп, которые можно использовать в качестве эталонов для измерений спектрального распределения яркости, облучённости и потока излучения.

В России стандартные измерительные лампы типа СИС 40–100, выпускавшиеся долгие годы опытным производством ВНИИС им. А.Н. Лодыгина, можно использовать в качестве эталонного переносимого источника спектрального распределения облучённости [6], а первичный эталон спектрального распределения потока излучения не реализован в нашей стране до сих пор.

Когда ставится задача тестирования ОП с целью определения их световых и цветовых параметров и сравнения полученных результатов с требованиями действующих современных стандартов и технических регламентов, необходимо учитывать, что эти параметры должны определяться по спектральному распределению потока излучения ОП. Для ОП с СД (и многих других) спектральные распределения энергетической яркости, силы излучения и облучённости зависят от угла наблюдения. Именно поэтому рекомендуется определять интегральные световые и цветовые характеристики расчётами по измеренному спектральному распределению потока излучения в интегрирующей сфере, оснащённой мини-спектрометром, калиброванным в составе этой сферы, или путём измерений пространственного распределения спектральной плотности потока ОП гониометром, оснащённым мини-спектрометром [3].

## 2. Методология калибровки интегрирующей сферы внешним эталонным источником

### 2.1. Измерительная система

Предлагается метод калибровки спектрорадиометрической системы для измерения параметров ОП (рис. 1), которая состоит из большой сферы (диаметром не менее 1,5 м), блока апертурных диафрагм у входа сферы 1 и мини-спектрометра с ПЗС-матрицей на выходе сферы 2. Методика основана на сравнении спектральной плотности облучённости входной апертуры сферы или, что то же, спектральной плотности потока излучения эталонной лампы 3, прошедшего через входную апертуру сферы, со спектральной плотностью потока ОП 4 внутри сферы. Установка должна быть оборудована вспомогательной лампой 5 и дополнительными экранами в сфере 6 и перед эталонной лампой 7.

### 2.2. Внешний эталонный источник

Идея внешнего источника для реализации первичного эталона воспроизведения единицы светового потока, люмена, первоначально была предложена в *NIST* (США) и затем использовалась в Международном проекте по

\* По материалам доклада на Международной конференции МКО «*Lighting Quality & Energy Efficiency*», 3–5 марта 2016 г., Мельбурн, Австралия

реализации люмена в ГУП «ВНИИ-ОФИ» (Россия) на основе высокотемпературного абсолютно чёрного тела – внешнего источника по отношению к интегрирующей сфере [7]. В настоящем проекте для измерения спектрального распределения потока излучения ОП с СД, помещаемого внутрь сферы, предлагается использовать эталонную измерительную лампу спектральной плотности облучённости в качестве внешнего источника для калибровки всего комплекса на основе сферы и спектрорадиометра. При этом поток излучения эталонной лампы спектральной плотности облучённости, прошедший в сферу через апертуру площадью  $A$ , имеет спектральное распределение

$$\varphi_e(\lambda) = E_e(\lambda) \cdot A,$$

где  $E_e(\lambda)$  – спектральное распределение облучённости от эталонной лампы  $3$  в плоскости апертурной диафрагмы  $1$ . Спектральная плотность суммарного потока  $\phi_i(\lambda)$  ОП с СД, определяемая методом сравнения со спектральным распределением парциального потока эталонной лампы  $\phi_e(\lambda)$ , равна:

$$\varphi_i(\lambda) = c_g(\lambda) c_f(\lambda) \varphi_e(\lambda) y_i(\lambda) / y_e(\lambda),$$

где  $y_i(\lambda)$  и  $y_e(\lambda)$  – реакции мини-спектрометра на освещение сферы внутренним и внешним источниками излучения;  $c_g(\lambda)$  – поправочный множитель, который связан с размером и геометрией расположения измеряемого ОП в сфере;  $c_f(\lambda)$  – поправочный множитель, обусловленный неравномерностью покрытия сферы и различной геометрией освещения на этих двух этапах измерения – с внешним и внутренним источниками излучения.

$c_f(\lambda)$  можно определить, используя эталонную измерительную лампу светового потока при цветовой температуре, например, 2800 К в двух геометриях измерений: как внешний и как внутренний источник излучения. В этом случае

$$c_f(\lambda) = x_e^i(\lambda) / x_e^e(\lambda), \quad (1)$$

где  $x_e^i(\lambda)$  – реакция мини-спектрометра, когда измерительная лампа находится внутри сферы (точечный источник в центре сферы),  $x_e^e(\lambda)$  – реакция мини-спектрометра в слу-

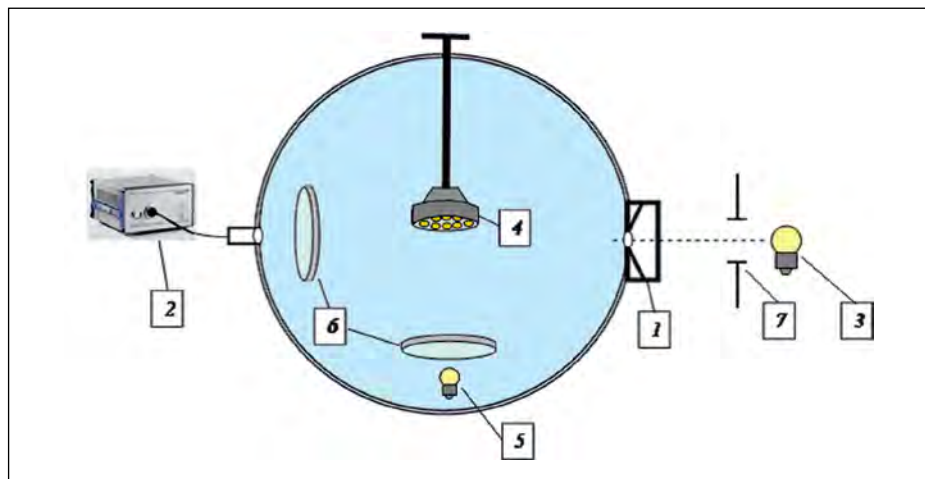


Рис. 1. Схема спектрометрической измерительной установки на основе интегрирующей сферы

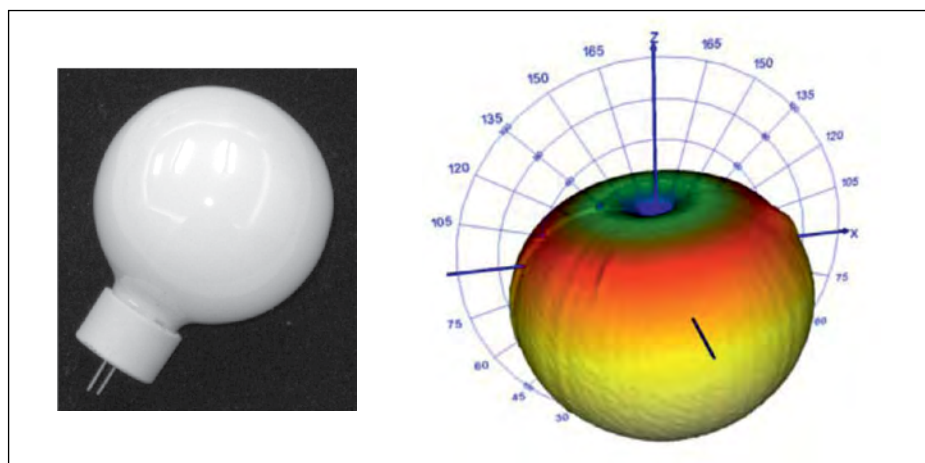


Рис. 2. Примеры матированной лампы накаливания, используемой в качестве перевозимого эталона потока излучения, и её 4π-фотометрического тела

чае, когда эта же лампа используется как внешний источник излучения. Этот поправочный множитель должен определяться на каждой  $\lambda$  спектрального диапазона измерений и для каждого варианта расположения испытуемого ОП внутри сферы. Если геометрия и покрытие сферы близки к «идеальному», то отношение (1) – относительных спектральных распределений  $x_e^i(\lambda)$  и  $x_e^e(\lambda)$  – стремится к 1 на каждой  $\lambda$ . При этом, например, максимальное отличие  $c_f(\lambda)$  от 1 можно рассматривать как систематическую составляющую суммарной погрешности предлагаемого метода. В то же время, в рутинных измерениях, когда сфера далека от идеально однородной, в результате измерений необходимо вносить поправки.

Использование вспомогательной лампы 5 (рис.1) позволяет определять поправочный множитель  $c_g(\lambda)$ :

$$C_g(\lambda) = u_{au}(\lambda) / u_{au}^{of}(\lambda),$$

где  $u_{au}(\lambda)$  – реакция мини-спектрометра на освещение сферы вспомогательной лампой при отсутствии ОП в сфере;  $u_{au}^{of}(\lambda)$  – реакция мини-спектрометра на освещение сферы вспомогательной лампой при установке ОП в рабочей позиции 4 (рис.1) внутри сферы, но не в режиме работы (т.е. когда ОП выключен).

### 2.3. Внутренний эталонный источник спектральной плотности потока излучения

Чтобы реализовать эталонный источник спектральной плотности потока излучения, необходимо иметь измерительную лампу с фотометрическим телом, близким к идеально равномерному в телесном угле  $4\pi$ , или, по крайней мере,  $2\pi$  (рис. 2), и гониофотометр, желательн, оснащён-

ный мини-спектрометром. Можно использовать отожжённые и отобранные галогенные лампы накаливания или СД-лампы, также предварительно отожжённые и проверенные на стабильность световых и цветовых параметров. Если гониофотометр не оснащён мини-спектрометром, необходимо измерять фотометрическое тело (по яркости, силе света или освещённости) и абсолютизировать его по спектральной плотности потока излучения. Для этого необходимо измерить спектральную характеристику ОП (энергетическую яркость, силу излучения или облучённость) в определённом направлении на оптическом стенде. При этом в ИЦ «ВНИСИ» калибровка мини-спектрометра по спектральной плотности энергетической освещённости выполняется на том же самом оптическом стенде с помощью измерительной эталонной лампы СИС 40–100, поверенной в ФГУП «ВНИИОФИ».

Если гониофотометр оснащён мини-спектрометром, то задача сводится к измерению пространственного распределения спектральной плотности, например, облучённости. Далее как в первом, так и во втором случаях

выполняется интегрирование в определённом телесном угле для определения спектрального распределения потока излучения  $\varphi_e(\lambda)$ :

$$\varphi_e(\lambda) = L^2 \int_{\gamma=0}^{2\pi} \int_{C=0}^{\pi} E_e(\lambda) \sin C d\lambda d\gamma dC,$$

где  $L$  – расстояние измерения  $E_e(\lambda)$  на оптическом стенде,  $\gamma$  – угол в вертикальной плоскости,  $C$  – угол в горизонтальной плоскости.

После выполнения расчёта по формуле (2) для всех  $\lambda$  излучения эталонного источника, система интегрирующая сфера–мини-спектрометр становится оснащённой эталонным источником сравнения для измерений спектральных характеристик ОП, а следовательно, для измерений световых и цветовых параметров ОП в режиме измерения спектрального распределения потока излучения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Joint ISO/CIE International Standard ISO/CIE19476:2014(E) (former CIE S023/E:2013) «Characterization of the Performance of Illuminance Meters and Luminance Meters».

2. CIE179:2007, Technical Report «Methods for Characterising Tristimulus Colorimeters for Measuring the Colour of Light».

3. CIE International Standard S025/E:2015 «Test Method for LED Lamps, LED Luminaires and LED Modules».

4. CIE214:2014 «Effect of Instrumental Bandpass Function and Measurement Interval on Spectral Quantities».

5. *Stolyarevskaya, R.I., Bartsev, A.A., Belyaev, R.I.* «Methodology of Luminaire BLH Radiance Measurements» / Proc. CIE2012 «Lighting Quality and Energy Efficiency», 19–21 September 2012, Hangzhou, China. – pp. 215–222.

6. *Bartsev A.A., Stolyarevskaya R.I., Belyaev R.I.* Features of the Testing Program for LED-Luminaires at VNISI Testing Centre // Light & Engineering. – 2013. – Vol. 20, No. 4. – P. 44–49; Барцев А.А., Беляев Р.И., Столяревская Р.И. Особенности программы испытаний осветительных приборов со светодиодами в ООО «ВНИСИ» // Светотехника. – 2013. – № 4. – С. 27–29

7. *Ivanov V.S., Sapritsky V.I., Ogarev S.A., Parfentyev N.A., Samoylov M.L., Khlevnoy B.B., Goodman T.M., Khromchenko V.B., Ohno Y., Sauter G., Stolyarevskaya R.I.* International project to realize the lumen // Light & Engineering. – 2002. – Vol. 10, No. 3. – P. 9–21; Иванов В.С., Саприцкий В.И., Огарёв С.А., Парфентьев Н.А., Самойлов М.Л., Гудман Т.М., Хлевной Б.Б., Оно И., Хромченко В.Б., Заузер Г., Столяревская Р.И. Международный проект по воспроизведению люмена // Светотехника. – 2002. – № 5. – С. 3–10.



**Алексей Анатольевич Барцев**, кандидат техн. наук. Окончил в 1986 г. МЭИ. Руководитель Испытательного центра ООО «ВНИСИ»



**Роман Иванович Беляев**, инженер. Окончил в 2006 г. МЭИ. Главный метролог Испытательного центра ООО «ВНИСИ». Представитель Российского национального комитета МКО в Отделении 6 МКО



**Раиса Иосифовна Столяревская**, доктор техн. наук. Окончила в 1968 г. физический факультет Казанского государственного университета. Научный редактор ООО «Редакция журнала «Светотехника», старший менеджер ООО «ВНИСИ». Представитель Российского национального комитета МКО в Отделении 2 МКО

## Модернизация уличного освещения в Лиссабоне

Испанское представительство холдинга БЛ ГРУПП реализовало перспективный проект по модернизации уличного освещения столицы Португалии – города Лиссабона. С помощью модулей «Ретрофит», произведённых на площадке в Испании, были модернизированы светильники на одной из исторических улиц.

Теперь 110 энергоэффективных светильников со светодиодами обеспечивают более 40% экономии электроэнергии на освещении. И самое важное – сохраняют облик улицы в первоначальном виде. Поскольку корпус светильников



ни в коем случае нельзя было менять, то специалистами было предложено решение, позволяющее соединить последние достижения светотехнической отрасли с минимальными «потерями» для исторического дизайна.

«Высокоэкономичное решение для Лиссабона легко можно будет «тиражировать» и применить во многих европейских городах», – отметил Пётр Шашин, руководитель департамента логистики и развития производства, управляющий проектом с российской стороны.