

Современное состояние и перспективы развития фотометрии осветительных приборов

Р.И. СТОЛЯРЕВСКАЯ¹, Е.И. РОЗОВСКИЙ²

¹ ООО «Редакция журнала «Светотехника», Москва

² ООО «ВНИСИ им. С.И. Вавилова», Москва

¹E-mail: lights-nr@inbox.ru

Аннотация

Статья посвящена обзору материалов в части рекомендаций, методов и средств воспроизведения и передачи размеров единиц фотометрических, энергетических и фотонных величин. Рассмотрены способы воспроизведения единиц фотометрических величин и их прослеживание до основных единиц системы СИ, а также связь методов и средств передачи размеров единиц от первичных эталонов измерительным установкам испытательных центров и лабораторий и современные требования к методам и средствам испытаний осветительных приборов, используемых в системах освещения различного назначения.

Ключевые слова: оптическая радиометрия, фотометрия, колориметрия, спектрорадиометрический подход, детекторный подход, фотонные величины, гониофотометрия, фотояркомер.

1. Введение

В последние десятилетия получили существенное развитие разработки в области создания источников света [1, 1а, 2, 2а], приёмников излучения [3, 4], измерительной техники и прецизионного приборостроения в целом [5–7]. Этот процесс идёт параллельно с развитием и внедрением квантовой технологии в метрологию [8], что обусловлено волновой природой света и лежит, практически, в основе определения кандеры 1979 г.

Международный выбор в направлении квантовой технологии или фотоники требует совершенствования прослеживания и достоверности измерений не только для однофотонных, но и для мультифотонных процессов. И хотя последнее требование ещё в процессе исследований и разработки, эволюцию в воспроизведении кандеры в направлении квантового подхода (например, кандера –

это сила света монохроматического источника излучения в данном направлении с частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, силой излучения, равной $1/683$ Вт/ср и фотонной силой излучения, равной $(683 \cdot 540 \cdot 10^{12} \cdot 6,626 \cdot 068 \cdot 96 \cdot 10^{-34})^{-1}$ фотон/(с · ср), можно считать современной, особенно с учётом того, что четыре единицы системы СИ (кг, моль, Кельвин и Ампер) переопределены в терминах физических констант с целью создания универсальной квантовой системы СИ на основе фундаментальных констант [9, 10, 11].

Подготовленный и официально одобренный Консультативным комитетом по фотометрии и радиометрии (ККФР) Международного комитета мер и весов (МКМВ) документ [12] является меморандумом «практического применения» в целях модернизации и расширения предыдущей версии этого документа, ограниченного реализацией кандеры на основе её определения 1979 г., действующего по сей день. Фотометрия и используемые в оптической радиометрии единицы измерения тесно связаны друг с другом современным определением основной единицы системы СИ – кандеры. Меморандум охватывает реализацию кандеры, равно как и других единиц измерения фотометрических и радиометрических величин. Последние достижения в области генерации и использования отдельных фотонов открывают огромные возможности в части оценки потоков излучения количеством фотонов. Поэтому принятый документ дополнительно включает в себя информацию о практической реализации перехода от измерений фотометрических и радиометрических величин к измерению фотонных величин.

1.1. Фотометрия и радиометрия

Кандера – это основная единица для измерения фотометрической величины «сила света» в системе СИ. Опреде-

ление кандеры в системе СИ устанавливает связь между фотометрическими и радиометрическими единицами. В 1979 г. на 16-ой Генеральной конференции по мерам и весам было принято следующее определение единицы силы света «кандера» [кд] [13]:

Кандера – это сила света, излучаемая в заданном направлении источником монохроматического излучения с частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, сила излучения которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/ср.

Отсюда следует, что при измерении в системе СИ относительная спектральная световая эффективность K_{cd} монохроматического излучения с частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц в точности равна 683 кд·ср/Вт или лм/Вт.

Это определение сформулировано с использованием только физических терминов и только для одной частоты электромагнитного излучения. Целью фотометрии является такое измерение параметров излучения в видимой области спектра, при котором результаты измерений связаны со зрительными ощущениями, вызванными у наблюдателя именно этим излучением. Большинство источников света имеют широкий спектр частот. Поэтому Международная комиссия по освещению (МКО) определила несколько весовых функций, которые называют функциями относительной спектральной световой эффективности и которые описывают относительную спектральную чувствительность или спектр реакции среднего глаза человека при определённых условиях наблюдения. Эти функции записываются как зависимости от длины волны в стандартном воздухе (сухой воздух при 15°C и 101325 Па, содержащий $0,03$ объёмных% диоксида углерода), нормализованные относительно их максимумов. Определение кандеры призвано связать эти функции, задав их значения на указанной частоте. Постоянная K_{cd} вместе с функцией относительной спектральной световой эффективности связывает фотометрические и радиометрические величины для формирования единой метрологической системы.

В 2007 г. МКМВ заключил соглашение с МКО, согласно которому эти две организации признали, что:

- МКМВ отвечает за определение фотометрических единиц в системе СИ;

- МКО отвечает за стандартизацию функций относительной спектральной световой эффективности

альной световой эффективности глаза человека.

В общем виде уравнение, связывающее заданное спектральное распределение радиометрической величины $X_{r,\lambda}(\lambda)$ с соответствующей ей фотометрической величиной $X_{v,x}$, имеет вид:

$$X_{v,x} = \frac{K_{cd}}{V_c(\lambda_0)} \int_{\lambda} X_{r,\lambda}(\lambda) V_c(\lambda) \cdot d\lambda, \quad (1)$$

где $\lambda_0 = 555,017$ нм – длина волны в стандартном воздухе, которая соответствует частоте, приведенной в определении канделы, а нижний индекс «х» указывает на ту или иную функцию относительной спектральной световой эффективности МКО. Самой важной из этих связанных со зрением функций является относительная спектральная световая эффективность для адаптированного к условиям дневного зрения глаза наблюдателя $V(\lambda)$, табулированная МКО с интервалом 1 нм для диапазона длин волн 350–830 нм. Недавно МКО стандартизировала функцию относительной спектральной световой эффективности для сумеречного зрения (*mesopic function*). Эта функция предназначена для использования при уровнях яркости, лежащих между уровнями яркости, соответствующими условиям дневного зрения, и уровнями яркости, соответствующими условиям ночного зрения (адаптации глаза в условиях ночного зрения), тем самым завершив стандартизацию связанных со зрением функций [14,15].

1.2. Фотометрия и фотонные величины

Фотонные величины – это характеристики оптического излучения, выраженные через известные количества фотонов или потоки фотонов. Из-за двойственной природы электромагнитного излучения, фотометрические и/или спектральные энергетические величины могут быть выражены через фотонные величины. Для длин волн в воздухе, связь между соответствующей заданной длине волны спектральной энергетической величиной $X_{e,\lambda}(\lambda)$ и соответствующей фотонной величиной $X_{p,\lambda}(\lambda)$ имеет вид:

$$X_{e,\lambda}(\lambda) = \frac{hc}{\lambda} \cdot n(\lambda) \cdot X_{p,\lambda}(\lambda), \quad (2)$$

где h – постоянная Планка, c – скорость света в вакууме, $n(\lambda)$ – спектральный коэффициент преломления стандартного воздуха.

Совместив уравнения (1) и (2), получаем общее уравнение, связывающее фотометрическую величину $X_{v,x}$ и соответствующую ей фотонную величину $X_{p,\lambda}(\lambda)$:

$$X_{v,x} = K_{p,x} \int_{\lambda} X_{p,\lambda}(\lambda) \frac{n(\lambda) V_c(\lambda)}{\lambda} d\lambda, \quad (3)$$

где

$$K_{p,x} = \frac{K_{cd} hc}{V_c(\lambda_0)}, \quad (4)$$

а $K_{p,x}$ – коэффициент перевода фотонных величин в фотометрические для функции относительной спектральной световой эффективности $V_x(\lambda)$.

Фотонные величины особенно важны для характеристики осветительных приборов (ОП), работающих в области фотосинтетически активной радиации (ФАР) [16,17]. Такой подход требует знания числа фотонов, которые могут взаимодействовать с молекулами вещества, способного его воспринять. За единицу фотонного потока в области ФАР принято число фотонов, равное числу Авогадро $N_A = 6,026 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ [18], так что поток фотонов Φ_{ph} на длине волны λ в спектральном диапазоне ФАР будет равен:

$$\Phi_{ph}(\lambda) = \frac{N_{ph}}{N_A} = \frac{\Phi_e(\lambda)\lambda}{hcN_A}, \quad [\text{мкмоль/с}], \quad (5)$$

где число фотонов $N_{ph} = \Phi_e(\lambda)/E_{ph}(\lambda)$, т.е. равно отношению спектрального потока излучения $\Phi_e(\lambda)$ к энергии кванта соответствующей длины волны $E_{ph}(\lambda) = hc/\lambda$.

2. Воспроизведение канделы и производных единиц измерения радиометрических, фотометрических и фотонных величин

Так как определение канделы связывает фотометрические единицы измерения с радиометрическими, то практическая реализация фотометрических единиц почти всегда основана на практической реализации радиометрических единиц.

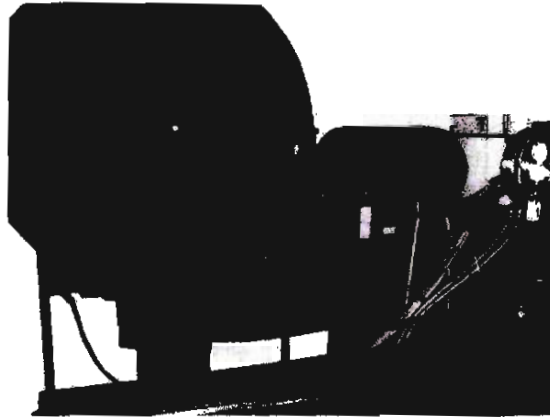
Обычно для реализации радиометрических единиц используются два основных метода. Это «детекторный» (*detector based*) и «основанный на источнике» (*source based*) подход, названные так в зависимости от того, что лежит в их основе: первичный эталонный приёмник или первичный эталонный источник излучения соответственно. Воспроизведение размеров единиц измерения фотонных величин, таких как поток фотонов (количество фотонов в секунду) или фотонная облучённость (количество фотонов в секунду на единицу площади) для низких уровней потоков излучения может быть осуществлено также при помощи радиометрических методов, основанных на приёмнике или источнике излучения и описывающих переход от радиометрических величин к фотонным. Однако, можно также использовать источники, которые генерируют отдельные фотоны, и в качестве основного метода реализации фотонных величин воспользоваться подсчётом фотонов. Это третий подход, который называется «фотонным» (*photon-based*). Ниже описаны наиболее распространённые в настоящее время подходы к измерению параметров оптического излучения.

Модель абсолютного радиометра, в которой реализован принцип электрического замещения (*Electrical Substitution Radiometer – ESR*), т.е. нагрев оптическим излучением сравнивают с нагревом замещающей излучение электрической мощностью. Этот хорошо известный метод в настоящее время наиболее часто реализуется с использованием приборов, охлаждённых до сверхнизких температур (<~20 К), при которых существенно уменьшается влияние многих источников погрешностей. Такие приборы называют «криогенными радиометрами (*cryogenic radiometer*)».

Фотодиоды с прогнозируемой квантовой эффективностью (*Predictable Quantum Efficient Photodiodes (PQED)*)

В основе метода лежит высокоэффективный полупроводниковый материал, имеющий малые потери в определённом спектральном диапазоне длин волн. Как правило, это кремниевый фотодиод, и использование точного метода преобразования фотонов в электроны и их регистрации прибором, позволяющие определить количество падающего оптического излу-

Рис. 1.
Государственный
первичный эталон
единицы силы света
и светового потока,
ВНИИОФИ, Москва



чения исходя из результатов измерения генерируемого фототока. Будучи изначально основанным на принципе «самокалибровки» отдельных фотодиодов, этот подход увеличил свою значимость после появления «приёмников-ловушек (trap detector)», обеспечивающих достижения близкого к единице квантового выхода благодаря созданию ловушек излучения, формирующих отражения от нескольких фотодиодов с электрически совмещёнными выходами, [3,4,19,20].

Абсолютный источник – это источник, характеристику оптического излучения которого можно рассчитать на основе результатов измерений других физических параметров, например термодинамической температуры. Оптическое излучение, генерируемое любым другим источником, можно измерить посредством прямого сравнения с таким абсолютным источником. Имеются два типа источников, которые при определённых условиях можно считать абсолютными:

- Модель излучателя Планка (модель чёрного тела) (рис. 1) – Для полости с высоким коэффициентом излучения (очень близким к единице) излучаемая спектральная энергетическая яркость может быть спрогнозирована при помощи закона излу-

чения Планка исходя из термодинамической (абсолютной) температуры полости. В этом случае прослеживаемость имеет место до единицы температуры СИ – кельвина. Для многих требующих высокой точности областей применения абсолютная температура полости определяется при помощи радиометрически калиброванного приёмника со светофильтром (который называют «радиометром со светофильтром» (*filter radiometer*)), и в этом случае прослеживаемость имеет место до электрических единиц СИ. Если энергетическая яркость этого источника постоянна во всех направлениях, то воспользовавшись прецизионной апертурой, помещённой перед излучателем Планка в определённом направлении на достаточно большом расстоянии, рассчитанное значение его спектральной энергетической яркости можно преобразовать в прогнозируемую спектральную силу излучения, спектральную облучённость на заданном расстоянии или спектральное распределение потока в определённом телесном угле [21,22].

- Кольцевой накопитель электронов, генерирующий синхротронное излучение (рис. 2) – Электроны, движущиеся с релятивистскими скоростями по круговым траекториям, ге-

нерируют синхротронное излучение. При определённых условиях этот источник может считаться абсолютным, и в этом случае мощность пучка синхротронного излучения, генерируемого одним электроном, движущимся по круговой траектории с частотой ν [Вт·рад⁻¹], может быть спрогнозирована при помощи уравнения Швингера на основе известных и измеренных значений электрических и геометрических параметров. Любое, вплоть до одного, количество электронов может быть накоплено без каких-либо изменений в форме спектра излучения. В этом случае прослеживаемость имеет место до электрических единиц и единиц длины СИ. Синхротронное излучение охватывает большой, вплоть до 12 порядков, диапазон потоков фотонов, что позволяет привести поток фотонов в соответствие с чувствительностью исследуемого приёмника [23,24].

Прослеживаемость при измерениях, основанных на воспроизведении фотонных величин, базируется на том, что определение канделы можно посредством фотометрических и радиометрических величин связать с фотонными величинами [8,25]. При этом отдельные фотоны можно генерировать при помощи, например, нелинейных материалов, а также оптических и электрических источников единичных фотонов, и подсчитывать (при помощи, например, фотоумножителей, однофотонных лавинно-пролётных диодов, сверхпроводящих нанопроволочных детекторов и датчиков фазового перехода).

Наиболее распространённый метод измерения фотометрических величин базируется на использовании образцового фотометрического приёмника, спектральная чувствительность которого точно соответствует нужной функции относительной спек-



Рис. 2. Источник синхротронного излучения BESSY II, PTB, Берлин [21]

тральной световой эффективности. Приёмник (фотометр, фотометрическая головка) имеет калиброванную по площади прецизионную диафрагму (прослеживаемость до единицы длины в системе СИ) и измеренную спектральную чувствительность (прослеживаемость до абсолютного радиометра [26]). Методом сравнения или прямыми измерениями фотометрическая единица перелаётся другим, имеющим эталонный статус, источникам света или фотометрическим головкам, которые становятся вторичными эталонными фотометрическими источниками (или приёмниками) для передачи размера соответствующей фотометрической величины. В этом случае прослеживаемость до СИ «основана на приёмнике», так что имеет место прослеживаемость до электрических единиц СИ. Этот метод обычно требует проведения дополнительных измерений спектральной чувствительности фотометра для определения качества спектральной коррекции приёмника под соответствующую функцию относительной спектральной световой эффективности МКО. Для определения качества коррекции фотометра необходимо знать относительную спектральную характеристику измеряемого источника света [27]. Если в процессе эксперимента измеряют фотонные величины, то их можно при помощи уравнения (3) преобразовать в соответствующие фотометрические величины.

Практически, все методы определения фотометрических, энергетических и фотонных параметров приводят к прослеживаемости до основных единиц системы СИ (рис. 3).

Более подробно существующие методы реализации фотометрических и радиометрических единиц измерения описаны в [8].

3. Оборудование испытательных лабораторий для оптических радиометрических измерений

Оснащение и метрологическое обеспечение аккредитованных испытательных лабораторий и центров в области оптической радиометрии является неотъемлемой частью современного энергоэффективного, экологичного, обеспечивающего высокое качество среды обитания освещения. Международное светотехническое сообщество уделяет большое внимание

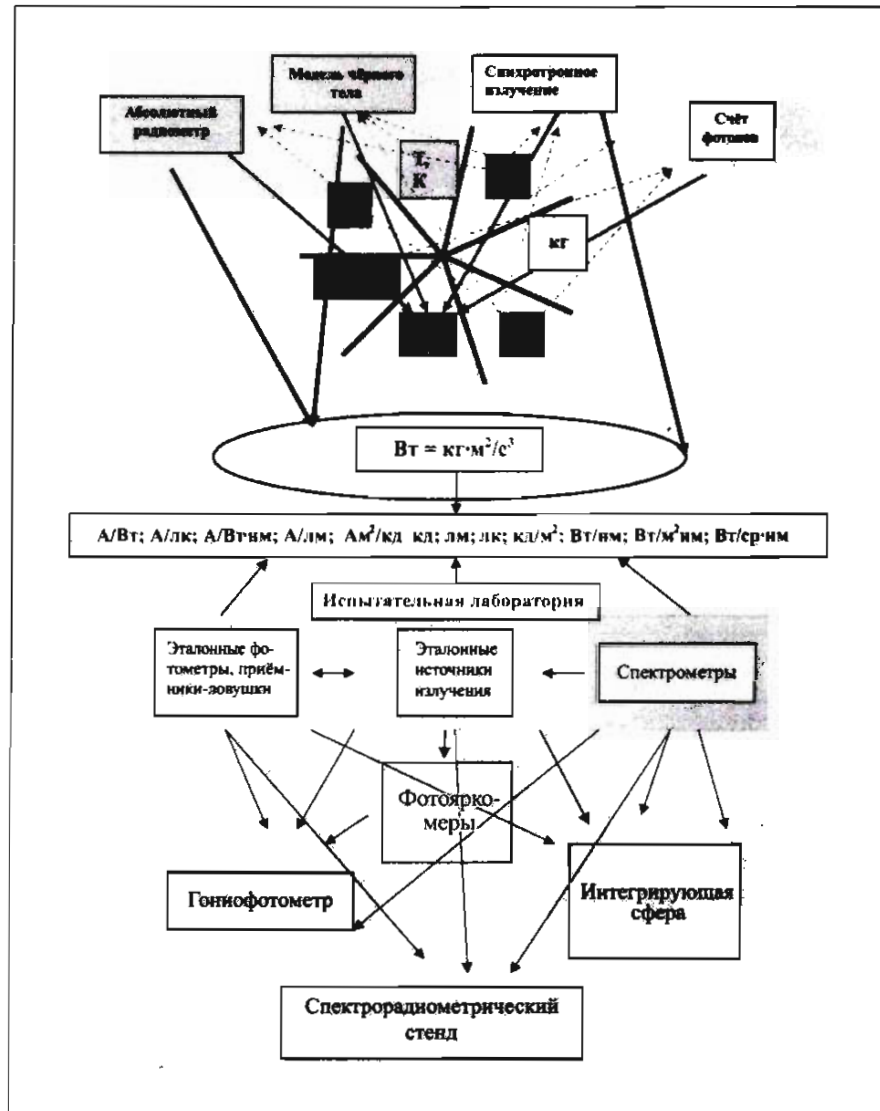


Рис. 3. Прослеживаемость к основным единицам системы СИ и передача размеров единиц от первичных и специальных эталонов оптической радиометрии некогерентного излучения измерительным комплексам испытательных лабораторий

единству измерений в части достоверной оценки параметров осветительной продукции.

С октября 2012 г. по август 2013 г. применительно к измерениям осветительных приборов со светодиодами группой международных экспертов были подготовлены и проведены в рамках специальной программы Международного энергетического агентства «IEA 4E SSL Annex» международные межлабораторные сличения IC2013, которые выявили определённые расхождения в результатах участников, обусловленные методиками измерений, используемым оборудованием и выбором критериев оценки неопределённости измерений [28, 29, 29а].

В настоящее время IEA 4E SSL Annex 2017 объявило о подготовке к новым международным сличениям испытательных лабораторий и центров в направлении гониофотометрических измерений на основе требований и методов нового стандарта МКО [30], прототипами которого являются: европейский документ EN13032-4, американский стандарт IESNA LM79, корейские стандарты KS C7653 и KS C7651 и другие международные и национальные материалы.

Новый стандарт МКО [30] предлагает следующие информационно-измерительные системы для тестирования характеристик ОП:

– комплексы с интегрирующей сферой; интегрирующая сфера с фотомет-

тром, интегрирующая сфера со спектро- радиометром;

– гониофотометрические комплексы: гониометр с фотометром (в том числе гониофотометры ближнего поля с создающими изображения фотометрами (фотояркомерами), гониометр со спектро- радиометром, гониометр с трехканальным колориметром;

– яркомеры (традиционные и фото- яркомеры);

– спектро- радиометрические установки с эталонными источниками излучения для измерения спектральных характеристик испытываемых ОП в заданных геометриях наблюдения.

Измерения устройств малых размеров, для которых не требуется определять распределение силы света (например, светодиодных ламп) проводят на комплексах с интегрирующей сферой. Измерения светильников, для которых обычно требуются данные о распределении силы света, проводят на гониофотометрических комплексах. Для определения спектральных и колориметрических характеристик применяют комплексы сфера- спектро- радиометр, гониометр- спектро- радиометр или гониометр- колориметр.

Комплекс гониометр- колориметр рекомендуется применять только для измерений относительных колориметрических характеристик. Спектро- радиометрический стенд используют для определения абсолютных спектральных характеристик источников света (ИС) и ОП и расчётов характеристик, измеренных в определённых геометриях (углах наблюдения), например, для определения параметра опасной синей яркости L_b [31, 32, 32a]. Все средства измерений, входящие в комплексы, должны быть поверены (калиброваны) с прослеживаемостью к единицам СИ.

3.1. Требования к интегральным фотометрам

Спектральные характеристики применяемых в установках фотометров, люксметров, фотометрических головок и яркомеров должны соответствовать функции относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения $V(\lambda)$, [36]. Суммарный коэффициент несоответствия коррекции f_1' (сфера фотометр, гониофотометр, люксметр) не должен превышать 3 % [27, 33, 34].

Если это требование выполняется, то коррекция спектрального несоответствия требуется только при измерениях тестируемых приборов (ТП) с цветными светодиодами. Невыполнение этого требования допускается, если коррекция спектрального несоответствия применяется при измерениях каждого ТП. В этом случае текущие значения f_1' заносят в протокол измерений. Если коррекция спектрального несоответствия не проводится, то следует оценить вклад этой погрешности в бюджет неопределённостей. Если коррекция проводится, то всё равно следует учитывать вклад, связанный с качеством коррекции под $V(\lambda)$, в суммарный бюджет неопределённостей [35].

При измерениях фотометрических характеристик в условиях ночного или сумеречного зрения рекомендуется использовать относительные спектральные световые эффективности отличные от $V(\lambda)$ [14, 15].

3.2. Интегрирующая сфера

Интегрирующая сфера должна быть оборудована вспомогательной лампой для измерения самопоглощения. Самопоглощение зависит от соотношения размеров ТП и сферы, формы и размеров ТП и эталонной лампы, а также отражающих характеристик ТП и покрытия сферы.

Когда ТП устанавливается в центре сферы (4 π -геометрия), площадь поверхности ТП должна составлять не более 2 % от площади внутренней поверхности сферы. Когда ТП устанавливается у отверстия сферы (2 π -геометрия), диаметр отверстия не должен превышать 1/3 диаметра сферы. Когда ТП устанавливается в центре сферы, его длинная ось должна совпадать с линией, проведённой между детектором фотометрической головки и центром сферы, чтобы минимизировать размеры экрана.

Внутреннее покрытие сферы должно быть диффузным, спектрально не- селективным и не имеющим флюоресценции. Для измерений рекомендуется использовать сферы с коэффициентом отражения покрытия не менее 90 %. Держатель источника света и вспомогательное оборудование внутри сферы должны иметь как можно меньшие размеры и покрытие с максимально возможным диффузным отражением. Для обес-

печения косинусной коррекции на входное отверстие фотометрической головки или спектро- радиометра устанавливают диффузную насадку или вспомогательную сферу. Косинусная погрешность должна быть не более 15 %. Воспроизводимость измерений при закрывании и открывании сферы должна быть в пределах $\pm 0,5$ %. Допустимое изменение чувствительности сферы между калибровками должно быть не более 0,5 %.

Калибровка интегрирующей сферы выполняется с помощью эталонной лампы светового потока, имеющей, желательно, сходное с ТП пространственное распределение силы света. Различия в распределении силы света должно учитываться в бюджете неопределённостей.

3.2.1. Комплекс сфера- спектро- радиометр

Комплекс сфера- спектро- радиометр следует калибровать с помощью эталона спектрального распределения полного потока излучения, имеющего прослеживаемость к единице СИ. В случае отсутствия такого эталона калибровка может быть выполнена с помощью эталонной лампы спектральной плотности облучённости и эталонной лампы полного светового потока, имеющих прослеживаемость к единице СИ. В этом случае использованный метод и связанные с ним параметры (например, угловая однородность спектрального распределения или коррелированной цветовой температуры эталонной лампы) должны быть записаны в протокол измерений. Обязательным условием является совместная калибровка комплекса сферы вместе со спектро- радиометром. Спектро- радиометр, используемый в комплексе сфера- спектро- радиометр, должен удовлетворять следующим требованиям:

– диапазон длин волн от 380 до 780 нм;

– неопределённость установки длины волны спектро- радиометром не должна превышать 0,5 нм при $k = 2$;

– спектральная ширина щели и шаг сканирования не должны превышать 5 нм.

Спектро- радиометр должен иметь линейный отклик на входящее излучение на каждой длине волны видимого диапазона. Влияние нелинейности и внутреннее рассеяние света

должны учитываться в бюджете неопределённостей.

Вспомогательная лампа для измерения самопоглощения должна иметь спектр излучения в видимом диапазоне длин волн.

3.2.2. Комплекс сфера-фотометр

Комплекс сфера-фотометр следует калибровать с помощью эталона полного светового потока, имеющего прослеживаемость к единице СИ [37]. Эталонная лампа и ТП должны иметь похожие спектральные распределения излучения.

Комплекс сфера-фотометр должен иметь относительное спектральное распределение, соответствующее функции относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения $V(\lambda)$ (см. также требования по в. 3.1.). При необходимости коррекции спектрального несоответствия, поправочный коэффициент (относительная активничность) вычисляют на основе данных об относительном спектральном распределении ТП и относительной спектральной чувствительности комплекса, т.е. с учётом относительной спектральной характеристики фотометрической головки и вклада относительного спектрального распределения функции сферы $\rho(\lambda)/(1-\rho(\lambda))$, где $\rho(\lambda)$ – спектральный коэффициент отражения материала внутренней поверхности сферы [38].

Рекомендуется, чтобы вспомогательная лампа для измерения самопоглощения имела спектр излучения, сходный со спектром ТП, особенно при измерениях одноцветных модулей.

3.3. Гониофотометры

Гониофотометр должен иметь угловой диапазон сканирования, соответствующий полному телесному углу, в котором ТП излучает свет. Это особенно важно для измерений полного светового потока.

Угловая юстировка ТП должна быть проведена с точностью $\pm 0,5^\circ$ от заданного направления. Угловой дисплей должен иметь разрешение не хуже $0,1^\circ$.

При измерениях пространственного распределения силы света источник излучения считается точечным. Силу

света получают из измеренной освещённости согласно закону обратных квадратов.

Для гониофотометров дальнего поля измерения проводят на следующих расстояниях:

– для ТП, имеющего близкое к косинусному (ламбертовскому) распределение (угол излучения $\geq 90^\circ$) во всех S -плоскостях: $\geq 5d$;

– для ТП, имеющего широкое угловое распределение, отличное от косинусного (угол излучения $\geq 60^\circ$) в некоторых S -плоскостях: $\geq 10d$;

– для ТП, имеющего узкое угловое распределение, высокий градиент распределения силы света, когда необходимо контролировать уровень сигнала фотометров (спектрорадиометров) от бликов отражённого света: $\geq 15d$;

– для ТП, имеющего большие несветящиеся области между светящимися поверхностями: $\geq 15(d+s)$, где d – максимальный размер излучающей поверхности ТП, а s – наибольшее расстояние между двумя соседними светящимися поверхностями.

Для гониофотометров ближнего поля расстояние не нормируется.

Полный световой поток получают интегрированием распределения освещённости, поэтому при измерениях не обязательно использование гониофотометров дальнего поля.

Гониофотометры, имеющие мёртвую зону более $0,1$ ср, могут использоваться для измерения полного светового потока только при условии проведения процедуры коррекции.

3.3.1 Комплекс гониофотометр-фотометрическая головка

Относительное спектральное распределение фотометрической головки должно соответствовать функции относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения $V(\lambda)$. При необходимости проводят коррекцию спектрального несоответствия по известным значениям относительного спектрального распределения излучения ТП и относительной спектральной чувствительности фотометрической головки. Коэффициент коррекции спектрального несоответствия определяют в соответствии со стандартом МКО [34].

Гониофотометр следует калибровать с помощью эталона силы света или эталона освещённости, имею-

щих прослеживаемость к единице СИ [37]. Если измеряется полный световой поток, то калибровку проводят с помощью эталона полного светового потока, имеющего прослеживаемость к единице СИ. При этом мёртвая угловая зона гониофотометра не должна влиять на результаты измерения стандартной лампы полного светового потока.

3.3.2 Комплекс гониофотометр-спектрорадиометр

Комплекс гониофотометр-спектрорадиометр следует калибровать с помощью эталона спектральной плотности силы излучения или эталона спектральной плотности энергетической освещённости, имеющих прослеживаемость к единице СИ [39].

При использовании комплекса для измерений полного светового потока или полного спектрального светового потока следует проводить калибровку с помощью эталона полного спектрального светового потока, имеющего прослеживаемость к единице СИ. Мёртвая угловая зона комплекса не должна влиять на результаты измерения стандартной лампы полного спектрального светового потока.

Спектрорадиометр, используемый в комплексе гониофотометр-спектрорадиометр, должен удовлетворять следующим требованиям: диапазон длин волн от 380 до 780 нм; неопределённость определения длины волны спектрорадиометром не должна превышать 0,5 нм при $k = 2$; спектральная ширина щели и шаг сканирования не должны превышать 5 нм. Спектрорадиометр должен иметь линейный отклик на входящее излучение на каждой длине волны видимого диапазона. Нелинейность и внутреннее рассеяние света должны учитываться в бюджете неопределённостей.

3.3.3 Комплекс гониофотометр-колориметр

Комплекс гониофотометр-колориметр должен включать в себя трехканальные колориметрические головки для измерения координат цвета X , Y , Z , которые должны иметь спектральную чувствительность, соответствующую цветовым функциям стандартов МКО. Канал Y должен также удовлетворять требованиям к комплексу гони-

офотометр-фотометрическая головка (п. 3.3.1).

Если эти условия не выполняются, то комплекс может быть использован только для измерения цветовых различий.

3.4. Яркометры

Для измерений могут применяться как традиционные яркометры, измеряющие яркость точек, так и фотояркометры, формирующие изображение распределения яркости поверхности. Яркометры калибруют с помощью эталона яркости, имеющего прослеживаемость к единице СИ [37].

Относительное спектральное распределение яркометра должно соответствовать функции относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения $V(\lambda)$ [36].

При необходимости проводят коррекцию спектрального несоответствия по известным значениям относительного спектрального распределения излучения ТП и относительной спектральной чувствительности фотометра. Коэффициент коррекции спектрального несоответствия функции $V(\lambda)$ определяют в соответствии с формулами, приведёнными в [34, 40]. При измерениях фотояркометром неопределённость измерений может быть оценена сравнением с результатами измерения распределения яркости типичного светодиодного устройства с помощью традиционного яркометра.

3.4.1. Фотояркометры [41, 41а, 42]

Основным назначением цифровых формирующих изображение яркометров или фотояркометров (*imaging luminance measurement device*) является измерение проекции пространственного распределения яркости протяжённых источников и освещённых поверхностей.

Фотояркометр – это прибор, состоящий из датчика изображения (например, матрицы приборов с зарядовой связью), фотометрического корригирующего светофильтра, объектива, электронных компонентов (анало-цифровой преобразователь, схема выборки и хранения, встроенный программный продукт обработки информации и дисплей). Приборы различаются типами калибровки.

Фотояркометр типа I: Только с яркостной калибровкой. Каждый из пикселей (i, j) яркостного изображения

$L(i, j)$ содержит только информацию о яркости, наблюдаемой в пределах сцены. Геометрическая информация для оценки изображения либо не нужна, либо не требуется.

Фотояркометр типа II: Каждый из пикселей (i, j) яркостного изображения $L(i, j)$ содержит как значение яркости сцены, так и сопутствующую информацию о направлении $\theta_c(i, j)/\varphi_c(i, j)$ и местоположении $x_s(i, j)/y_s(i, j)$ и о видимых телесных углах $\Delta\Omega_{Pixel}(i, j)$. Для фотояркометров этого типа необходима как фотометрическая, так и геометрическая калибровка.

Свойства классических яркометров описаны в [34]. В случае фотояркометров следует учитывать некоторые дополнительные особенности:

- Измерения и оценки обычно производятся при помощи компьютерных программ. Перекод физического сигнала (собранных фотографий) в значения яркости может оказаться сложным, и иногда для этого используются алгоритмы обработки и сжатия изображения (например, для уменьшения объёма данных).

- Фотояркометры имеют большое количество (более или менее) независимых приёмников, которые называют пикселями. Если рассматривать систему как совокупность отдельных приёмников, то каждый из приёмников должен иметь свои собственные характеристики. Однако на практике эти пиксели совмещают (механическими средствами или математически), чтобы сформировать несколько зон измерения (зон оценки).

- Некоторые из имеющихся в продаже фотояркометров допускают лёгкую замену оптической системы (изменение фокусного расстояния, апертуры, объективов и нейтральных светофильтров). В общем случае, служащие для описания фотояркометра параметры относятся только к определённой конфигурации (фиксированное фокусное расстояние, неизменные апертуры), которую следует указывать вместе с показателями качества.

- Яркостное изображение представляет собой совокупность значений яркости $Y(i, j)$, измеряемых входящим в состав фотояркометра датчиком изображения с $(N \cdot M)$ чувствительными элементами (пикселями).

- Фотояркометры следует калибровать при помощи эталонов яркости с использованием однородной светящейся ламбертовской поверхности,

размер которой существенно превышает входящее в зону оценки поле объекта. Используемый для проведения калибровки эталон яркости калибруется, как промежуточный эталон, при помощи калиброванного яркометра методом замещения (приёмник калибрует приёмник) или фотометрической головки в режиме освещённости с дополнительной прецизионной диафрагмой на светящейся поверхности эталона яркости.

- Фотояркометры также можно калибровать с использованием источника с известным спектральным распределением энергии излучения, существенно отличающимся от излучения чёрного тела (например, для цветных СД). В этом случае спектральная чувствительность средства измерения должна существенно отличаться от нуля во всём используемом спектральном диапазоне, что позволит определить коэффициент коррекции спектрального несоответствия.

- На основе результатов спектрорадиометрических измерений можно рассчитать и поправочные множители. Для этого необходимы спектральные эталоны энергетической яркости. На основе данных о калибровке этих эталонов следует рассчитать (интегральные) фотометрические величины в соответствии с их определениями. При этом следует принимать во внимание корреляцию между спектральными характеристиками этих эталонов, так как она вносит существенный вклад в неопределённость измерений.

- При расчёте неопределённости измерений следует принимать во внимание распределение силы света эталона яркости, особенно в случае больших углов поля измерения фотометра, или если метод замещения реализуется с использованием различных углов полей измерения промежуточного эталона и калибруемого яркометра.

- Фотояркометры следует регулярно калибровать через рекомендуемые производителем промежутки времени или если есть подозрения, что характеристики прибора изменились.

3.5. Гониофотометр ближнего поля [43]

Концепция фундаментальной феноменологической фотометрии базируется на величинах *светового потока* Φ , *силы света* $I = d\Phi/d\omega$, *освещённости* $E = d\Phi/dA$ применительно

к условиям выполнения (в заданном приближении) закона обратных квадратов, т.е. условиям, в которых приёмник и источник излучения можно считать точечными. В реальных условиях имеем дело с протяжёнными ИС и ОП, измерение фотометрических характеристик которых требует больших расстояний. В то же время, фундаментальная фотометрия оперирует таким понятием, как *яркость* $L = d\Phi / d\omega dA \cos\theta$. Яркость является характеристикой светящейся физической поверхности и не зависит от расстояния. Теория светового поля, предложенная А.А. Гершуном в начале 30-х годов прошлого столетия, и разработанный им телецентрический метод измерения силы света позволили интерпретировать понятие яркость, приписав ему бесконечно малый пространственный угол, эквивалентный геометрическому лучу.

Таким образом, элементарный конус $d\omega$ может рассматриваться как бесконечно тонкий луч с дифференциальным сечением $dA \cos\theta$. Яркость L связана с силой света следующим соотношением: $L = dI / dA \cos\theta$, где область дифференцирования окружает точечный источник света. Аналогичным образом можно выразить яркость через освещённость: $L = dE / d\omega \cos\theta$, тогда выражение для освещённости E примет вид: $E = \int_{\omega} L \cos\theta d\omega$. Последнее выражение полезно тем, что позволяет рассчитать освещённость в точке поверхности, создаваемую протяжённым источником, если известно распределение яркости этого источника.

В природе существуют физические ИС, которые не имеют определённой светящейся поверхности, т.к. они объёмны, например, плазма, распространяющая свет из объёма. Другим примером может служить свет

неба, связанный с рассеянием солнечного излучения в атмосфере.

Применительно к объёмным источникам излучения можно говорить о яркости реальной или яркости образа (нимиджа). Другими словами, можно определить яркость в данной точке пространства и в заданном направлении как световой поток, отнесённый к единице площади в данном направлении в единичном пространственном угле. Таким образом, рассматривается не светящаяся поверхность: речь идёт о световом поле вокруг наблюдателя (реального или виртуального), и используется фундаментальное представление яркости как геометрического пучка лучей для комплексного описания пространственного распределения яркости протяжённого ИС.

Теория поля Гершуна нашла своё широкое применение именно сегодня, когда трёхмерная компьютерная графика при соответствующем программном обеспечении позволяет рассчитывать освещённость в любой точке любой поверхности в трёхмерном пространстве, если известна яркость всех лучей, проходящих через эту точку [44].

Практическое применение теории Гершуна реализовано в методике определения яркости воображаемой поверхности вокруг протяжённого источника света с помощью так называемого гониофотометра ближнего поля (рис. 4), включающего в себя гониометр и фотометр – яркомер, последовательно измеряющий яркость до 250000 геометрических лучей (пространственных конусов) в любой точке пространства. Яркомер устанавливается на перемещающемся плече, которое вращается вокруг ОП в вертикальной плоскости. Сам ОП может вращаться в горизонтальной плоскости.



Рис. 4. Гониофотометр ближнего поля типа RIGO 807 (ВНИСИ им. С.И. Вавилова)

сти. Видеокамера на приборах с зарядовой связью с коррекцией под относительную спектральную световую эффективность и набором линз используется в качестве яркомера. Соответствующим подбором линза камера фокусируется на светящееся тело ОП. Каждый чувствительный элемент матрицы измеряет яркость пирамидального объёма в заданном направлении. Таким образом, в состав гониофотометра ближнего поля входит фотояркомер.

3.6. Спектрорадиометрический измерительный комплекс

Спектрорадиометрический измерительный комплекс может базироваться на оптическом стенде, выполненном, например, с применением оптической скамьи типа ОСК 2. Спектрорадиометр, применяемый в измерительной системе, может быть на основе матрицы приборов с зарядовой связью на выходе минидиспергирующей схемы или сканирующей, с двойным монохроматором. В любом случае, спектрорадиометр играет роль компаратора в схеме сравнения спектрального распределения эталонного источника излучения и тестируемого прибора. Использование миниспектрометра позволяет реализовать экспресс методики, но уступает в точности измерений. Сканирующий спектрометр используется в задачах прецизионных абсолютных измерений спектрального распределения облучённости,

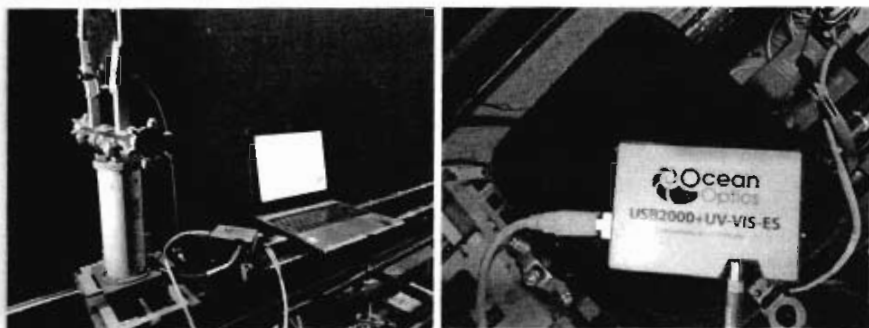


Рис. 5. Элементы спектрорадиометрического стенда с миниспектрометром (ВНИСИ им. С.И. Вавилова): слева – диффузная насадка оптического волокна на входе миниспектрометра, справа – миниспектрометр.

энергетической яркости, силы излучения или потока излучения. Для сравнения с эталоном каждой из перечисленных выше величин необходимо дополнительное оборудование в виде специальных оптических систем проецирования изображения или режима освещения входной щели или входа в волоконно-оптический тракт миниспектрометра с ПЗС-матрицей на выходе (рис. 5). Единицы измерения прослеживаются до излучателя Планка, т.е. до термодинамической температуры T , К.

Продолжение статьи будет опубликовано в одном из ближайших номеров журнала «Светотехника».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Gerloff, T., Lindemann, M., Shirokov, S., Taddeo, M., Pendsa, S., Sperling, A. Development of a New High-Power LED Transfer Standard // *Light & Engineering*. – 2013. – No. 2. – P. 41–46.
- 1а. Герлофф Т., Линдемманн М., Пендза Ш., Шперлинг А., Тадео М., Широков С. Разработка нового мощного светодиодного эталона сравнения // *Светотехника*. – 2013. – № 4. – С. 47–50.
2. Agafonov D.R., Sapritsky V.I., Stolyarevskaya R.I., Tolstikh G.N. Luminous Intensity LED Working Gage // *Light & Engineering*. 2000. – Vol. 8, No. 2. – P. 74–80.
- 2а. Агафонов Д.Р., Саприцкий В.И., Столяревская Р.И., Толстых Г.Н. Рабочий эталон силы света на основе светодиодов // *Светотехника*. – 2000. – № 3. – С. 9–12.
3. Sildoja, M. et al. Predictable Quantum Efficient Detector I. Photodiodes and predicted responsivity // *Metrologia*. – 2013. – Vol. 50. – P. 385–394.
4. Muller I. et al. Predictable Quantum Efficient Detector II. Characterization Results // *Metrologia*. – 2013. – Vol. 50. – P. 395–401.
5. Krueger, U. 2001. Technological aspect of the spectral correction adjustment of space-resolved radiation detectors // *Light & Engineering*. – 2001. – Vol. 9, No. 3. – P. 61–71.
- 5а. Крюгер У. Спектральная корректировка матричных приёмников излучения // *Светотехника*. – 2001. – № 4. – С. 16–20.
6. Weißhaar J.P. Next Generation Goniophotometry // *Light & Engineering*. – 2015. – Vol. 23, No. 4. – P. 75–80.
- 6а. Вайсхаар Ю.П. Гониофотометрия следующего поколения // *Светотехника*. 2015. – № 5. – С. 23–27.
7. URL: <http://www.instrumentsystems.com>. (дата обращения 24.01.2017).
8. Zwinkels, J.C., Ikonen, E., Fax, N.P., Ulm, G., Rastello, M.L. Photometry, radiometry and «the candela»: evolution in the classical and quantum world // *Metrologia*. – 2010. – Vol. 47, No. 5. – P. 15–32.
9. Patsky, B.W. The Atomic Units, the Kilogram and the Other Proposed Changes to the SI // *Metrologia*. 2007. V44, #1, pp.69–72.
10. Mills, I. M., Mohr, P.J., Quinn, T.J., Taylor, B. N., Williams, E.R. Redefinition of the Kilogram, Ampere, Kelvin and Mole: A Proposed Approach to Implementing CIPM Recommendation 1 (CI-2005) // *Metrologia*. – 2006. – Vol. 43, No. 3. – P. 227–246.
11. Mills, I.M., Mohr, P.J., Quinn, T.J., Taylor, B.N., Williams, E.R. Redefinition of the Kilogram: A Decision Whose Time Has Come // *Metrologia*. 2005. Vol. 42, No. 2. – P. 71–80.
12. BIPM SI Brochure, Appendix 2. «*Mise en pratique* for the definition of the candela and associated derived units for photometric and radiometric quantities in the International System of Units (SI)». CCPR (BIPM). 2015.
13. BIPM SI Brochure: The International System of Units (SI), 8th edition, 2006; updated in 2014. Bureau International des Poids et Mesures, F-92310 Sevres, France.
14. CIE TN004:2016 The Use of Terms and Units in Photometry - Implementation of the CIE System for Mesopic Photometry.
15. CIE TN «Interim Recommendation for Practical Application of the CIE System for Mesopic Photometry in Outdoor Lighting». Enquiry Draft, 2017.
16. Кузьмин В.И., Николаев С.Е. Методы и приборы для оперативной оценки энергоэффективности оптического излучения в условиях светокультуры // *Светотехника*. – 2016. – № 4. – С. 41–43.
17. Kuzmin, V.I., Nikolaev, S.E. Methods and Devices for Quick Evaluation of Optical Radiation Energy Efficiency // *Light & Engineering*. 2016. – No. 4. – P. 103–104.
18. Кухи Т.К., Шенетьев Н., Эльце Т. Предложения по оценке излучения, физиологически активного для растений // *Светотехника*. – 2003. – № 1. – С. 40–41.
19. Fax, N.P. Radiometry with cryogenic radiometers and semiconductor photodiodes // *Metrologia*. 1995. Vol. 32, No. 6. P. 535–544.
20. Gardner, J.L. A Four-element Transmission Trap Detector // *Metrologia*. 1995. Vol. 32, No. 6 – P. 411–418.
21. Sapritsky, V.I. Black-body Radiometry // *Metrologia*. – 1995. – Vol. 32, No. 6. – P. 411–418.
22. Sapritsky, V.I., Stolyarevskaya, R.I. Realization of the Lumen on the Basis of a Large-aperture High Temperature Black Body // *Metrologia*. 1995. – Vol. 32, No. 6. P. 455–458.
23. Klein, R. Validation of the Probability Density Function for the Calculated Radiant Power of Synchrotron Radiation According to the Schwinger Formalism // *Metrologia*. – 2016. – Vol. 53, No. 3. – P. 927–932.
24. Аниский С.И., Золотаревский Ю.М., Крутиков В.И., Минаева О.А., Минаев Р.В., Сенин Д.С. Развитие методов воспроизведения и передачи единиц спектрорадиометрии с использованием синхротронного излучения // *Измерительная техника*. – 2015. – № 3. – С. 31–33.
25. Castelletto, S., Godone, A., Novero, C., Rastello, M.L. Biphoton Fields for Quantum-efficiency Measurements // *Metrologia*. – 1995. – Vol. 32, No. 6. – P. 501–504.
26. Гасрилов В.Р., Динаев А.Ю., Морозова С.И., Огрянский Д.А., Саприцкий В.И., Хлевной Б.Б. Государственный первичный эталон абсолютной спектральной чувствительности в диапазоне длин волн от 0,25 до 14,00 мкм // *Измерительная техника*. 2015. № 11, тр. 15–17.
27. CIE210: 2014 Photometry Using V(λ)-corrected Detectors as Reference and Transfer Standards.
28. «Solid State Lighting Annex 2013 Interlaboratory Comparison Final Report». 10.09.2014 // http://ssl.ica-4.e.org/files/otherfiles/0000/0067/IC2013_Final_Report_final_10.09.2014.a.pdf.
29. Bartsev, A.A., Belyaev, R.I., Stolyarevskaya, R.I. International Interlaboratory Comparison IC2013 Experience and Participation Results of the VNISI Testing Centre // *Light & Engineering*. – 2015. – Vol. 23, No. 3. – P. 55–64.
- 29а. А.А. Барцев, Р.И. Беляев, Р.И., Столяревская. Международные межлабораторные сличения-2013 (IC2013). Опыт и результаты участия ИЦ ВНИСИ // *Светотехника*. – 2015. – № 5. – С. 35–41.
30. CIE S025/E:2015: Test Method for LED Lamps, LED Luminaires and LED Modules.
31. CIE S009/E:2002 / IEC62471:2006 Photobiological Safety of Lamps and Lamp Systems.
32. Bartsev, A.A., Belyaev, R.I., Stolyarevskaya, R.I. Methodology of LED Luminaire BLH Radiance Measurements // *Light & Engineering*. 2013, #1, pp.53–59.
- 32а. Барцев А.А., Беляев Р.И., Столяревская Р.И. Метод измерения физиологически эффективной яркости опасного синего излучения осветительных приборов // *Светотехника*. – 2013. – № 2. – С. 25–29.
33. CIE202:2011 Spectral Responsivity Measurement of Detectors, Radiometers, and Photometers.
34. ISO/CIE19476:2011(E) Characterisation of the Performance of Illuminance Meters and Luminance Meters.
35. CIE198:2011 Determination of Measurement Uncertainties in Photometry.
36. ГОСТ Р 8.332–78 ГСИ, Световые измерения. Значения относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения.
37. ГОСТ Р 8.023 ГСИ, Государственная поверочная схема для средств измерений световых величин непрерывного и импульсного излучений.
38. IESNA LM-78, 2007. «IESNA Approved Method for Total Luminous Flux Measurement of Lamps Using an Integrating Sphere Photometer».
39. ГОСТ Р 8-195 ГСИ Государственная поверочная схема для средств измерений спектральной плотности энергетической яркости, спектральной плотности силы излучения и спектральной плотности энергетической освещенности в диапазоне длин волн от 0,25 до 25,00 мкм; силы излучения и энергетической освещенности в диапазоне длин волн от 0,2 до 25,0 мкм.

40. ГОСТ Р 8.850 ГСН Характеристики люксметров и яркометров, 2013.

41. Krüger, U., Ruggaber, B., Schmidt, F. Spectral Properties of Imaging Luminance Measuring Devices Considering the Angular Dependence of the Spectral Transmission of Filters // Light & Engineering. – 2012. – No. 2. – P. 72–77.

41a. У. Крюгер, Б. Руггабер, Ф. Шмидт. Спектральные характеристики яркометров на ПЗС с учётом спектральных коэффициентов пропускания светофильтров // Светотехника. 2012. – № 1. – С. 46–50.

42. CIE Draft 2.55, NC2 59, WD03: Characterization of Imaging Luminance Measurement Devices (ILMDS).

43. CIE, TC2-62: Imaging-Photometer-Based Near-Field Goniophotometry, 2009, Draft WD00.

44. Булак В.П., Стригов И.А. Луч Света в Теории Светового Поля. Математическое Моделирование Световых Полей. М.: Издательство МЭИ, 2016.

45. ISO/IEC GUIDE 98-4.

46. CIE121-1996. The Photometry and Goniophotometry of Luminaires.

47. CIE13.3.:1995. Method of Measuring and Specifying Colour Rendering of Light Sources.

48. CIE15:2004. Colorimetry, 3rd Edition.

49. CIE TN001:2014.

50. CIE198:2011. Determination of Measurement Uncertainties in Photometry.

51. CIE198:2011. Determination of Measurement Uncertainties in Photometry – Supplement 1: Modules and Examples for the Determination of Measurement Uncertainties.

Июньское заседание бюро НТС

14 июня 2017 года под председательством Г.В. Бооса состоялось очередное заседание бюро Научно-технического совета (НТС) «Светотехника». Руководители секций НТС представили бюро планы работ по своим направлениям и специалистам, согласившихся принять участие в работе секций. Л.Б. Прикупен, руководитель секции «Облучательные установки фотобиологического действия» рассказал о планах секции на 2017–2018 гг., среди которых – двухгодичная серия фотобиологических исследований в РГМУ-МСХА по оптимизации светотехнических параметров облучательных установок для растений, привлечение к работе секции иностранных специалистов, подготовка стандартов по тематике секции.

Руководитель секции «Светотехническое образование и методология» Е.Ю. Матвеева представила план работ секции, в который вошли актуализация паспорта светотехнической специальности, разработка совместно с секцией «Стандартизация и сертификация в светотехнике» профессионального Федерального государственного стандарта, анализ состояния светотехнического образования, организация взаимодействия со студентами и профессорско-преподавательским составом российских вузов.

Руководитель секции «Стандартизация и сертификация в светотехнике» А.Г. Шахларуянц среди важнейших задач, которые предстоит решать участникам секции, назвала организацию обсуждения светотехнической общественностью проектов стандартов, в том числе профессиональных стандартов, серию стандартов по светодиодам, освещению автомобильных дорог и сельскохозяйственному освещению, актуализацию нормативной документации по освещению музейных фондов.

Глава секции «Метрология, современные методы измерения и измерительное оборудование» Р.Н. Столяревская сообщила, что её секция планирует принять участие в создании специального эталона спектральной плотности полного потока излучения, в работах по адаптации для России стандарта МКО S025, в обсуждении стандарта Американского светотехнического общества по вопросам полезного срока службы световых приборов со светодиодами, а также в разработке измерительного оборудования для световых приборов со светодиодами, продвижение сличения измерительных приборов для фотонной облучённости и в области ФАР.

В.Л. Булак, как руководитель секции «Программное обеспечение и математическое моделирование», предполагает в ближайшее время завершить работу по сравнительно точности результатов расчёта внутреннего освещения в основных программах проектирования осветительных установок. После публикации отчёта планируется обсудить его со всеми заинтересованными специалистами и пригласить их к дальнейшему сотрудничеству в рамках секции. Далее по такому же алгоритму будут рассматриваться темы светового дизайна, наружного и уличного освещения, единой формы представления результатов, тепловые и оптические расчёты.

Учёный секретарь НТС Д.Д. Юшков рассказал о составах и планах работ секций, руководители которых по уважительным причинам отсутствовали на заседании бюро.

Бюро НТС дало некоторые рекомендации по уточнению планов работ с тем, чтобы после их доработки они были рассмотрены всем членам совета.

Кроме планов работ секций НТС на заседании бюро был рассмотрены вопросы развития и модернизации кафедры светотехники НИУ «МЭИ». Было отмечено, что руководители холдинга БЛ ГРУПП, ВНИСИ им. С.И. Вавилова и кафедры светотехники провели определённую организационную работу по повышению качества высшего образования и подготовке новых кадров для НИУ «МЭИ». На базе ВНИСИ под руководством В.Г. Бооса создан учебно-исследовательский комплекс – в его аудиториях на экспериментальных установках уже проведены важные исследования и подготовлены магистерские диссертации студентов кафедры светотехники. Бюро были доложены результаты следующего этапа кадровой работы, а именно методической подготовки преподавателей, разработки новых учебных программ, актуализации учебных дисциплин действующих учебных планов подготовки бакалавров по профилю «Светотехника и источники света» и магистров по основной образовательной программе подготовки «Теоретическая и прикладная светотехника», а также дисциплин разрабатываемых учебных планов. Кроме того, членам Бюро были представлены новые преподаватели кафедры светотехники.

В.Ю. Сметков,
Учёный секретарь НТС «Светотехника»



Столяревская Раиса Иосифовна, доктор техн. наук. Окончила в 1968 г. физический факультет Казанского государственного университета. Зам. главного редактора журнала «Светотехника» и научный редактор англоязычной версии журнала «Light & Engineering».

Представитель Российского национального комитета МКО в Отделении 2 МКО



Розовский Евгений Исаакович, к.т.н. (1984 г.). Окончил МЭИ в 1971 г. Ведущий научный сотрудник ООО «ВНИСИ им. С.И. Вавилова». Старший научный редактор журнала «Светотехника». Эксперт от РФ в Т: 34 МЭИ

«Источники света и сопутствующее оборудование»

Фотометрия осветительных приборов со светодиодами¹

Э. БЕРГЕН

Компания Photometric Solutions International Pty Ltd, Мельбурн, Австралия
E-mail: tonyb@photometricsolutions.com

Аннотация

Светодиоды (СД) резко изменили наш подход к освещению. Они динамичны, универсальны и красочны. Их свет легко регулировать и модулировать, они прочны, долговечны и в различных сочетаниях позволяют как реализовывать живописные и интересные конфигурации, так и формировать захватывающие и жизнерадостные освещённые сцены.

При этом они могут создавать проблемы в части измерений и стандартизации. Не все эти проблемы являются новыми или необычными, но с появлением СД они стали более важными или очевидными и требующими более тщательного рассмотрения. В статье освещается ряд вопросов, с которыми фотометрические лаборатории сталкиваются при испытаниях осветительных приборов с СД, и подчёркивается важность стандартизации.

Ключевые слова: фотометрия, фотометрия СД, стандартизация СД.

1. Погрешности, обусловленные спектральной коррекцией

На рис. 1 приведена функция $V(\lambda)$, представляющая собой спектральную световую эффективность для дневного зрения. Эта функция лежит в основе всей фотометрии, т.к. она говорит о том, как наши глаза воспринимают свет, и чувствительности фотоприёмников, таких как люксметры и яркометры, должны соответствовать этой функции. Кроме того, на рис. 1 приведён спектр излучения лампы накаливания (тепловой источник излучения с цветовой температурой 2856 К), который характерен для источников света, используемых для калибровки фотометров.

Однако спектры светодиодных (СД) ламп сильно отличаются от спектра используемого для калибров-

ки источника света. Т.к. спектральная чувствительность фотометра никогда не совпадает в точности с идеальной функцией $V(\lambda)$, то это приводит к по-

грешностям измерений, которые называют погрешностями спектральной коррекции. Величина такой погрешности зависит от спектральной чувствительности приёмника и спектра измеряемого источника света.

На рис. 2 слева приведены функция $V(\lambda)$ (зелёная линия), спектральная чувствительность гипотетического приёмника, плохо коррелированного в синей области спектра (синяя линия) и спектр СД холодного белого света (красная линия). Хотя спектры и не согласованы в синей области,

Рис. 1. Кривая $V(\lambda)$, на которой основана фотометрия, и спектр лампы накаливания, обычно используемой для калибровки фотометров

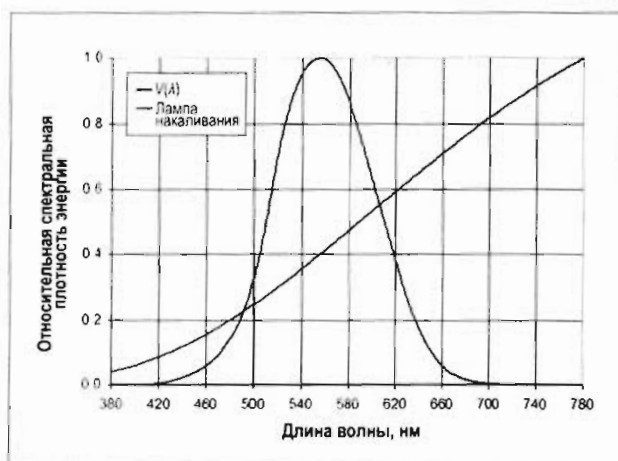
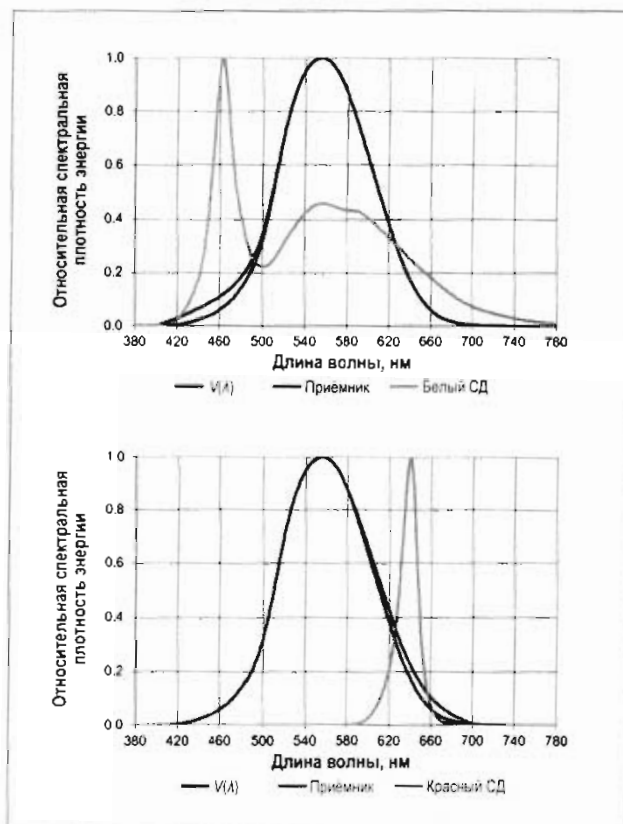


Рис. 1. Кривая $V(\lambda)$, на которой основана фотометрия, и спектр лампы накаливания, обычно используемой для калибровки фотометров



¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

в которой имеет место большой пик излучения СД, значения функции $V(\lambda)$ в этой области малы, и вклад синей составляющей в значения световых величин гораздо ниже вклада более длинноволнового излучения (примерно 1-17), что уменьшает погрешность, так что в этом случае погрешность измерений будет равна примерно 3%. На рис. 2 справа показан ещё один гипотетический приёмник, который плохо скорректирован в красной области спектра. В этом случае большая часть спектра излучения сосредоточена в области, в которой приёмник плохо скорректирован под функцию $V(\lambda)$, и в этом случае погрешность измерений будет равна примерно 20%. Этот пример говорит о том, что для цветных СД спектральное несоответствие имеет гораздо большее значение, чем для белых СД, однако для обеспечения высокого качества измерений мы должны это учитывать и вводить, по возможности, поправки и при измерениях белых СД.

Дополнительная информация о калибровке фотометров, включая определение погрешностей, связанных со спектральным несоответствием, содержится в [1]. В [2] предлагается основанный на значениях характеристики f_j фотометра метод определения возможного максимального значения подобной погрешности, которая может иметь место при измерениях белых СД.

2. Источники света с широтно-импульсной модуляцией

Для питания СД источников света часто используется широтно-импульсная модуляция (ШИМ), позво-

Рис. 3 Зависимость мгновенного значения силы света от времени для фонаря с СД с двумя режимами работы

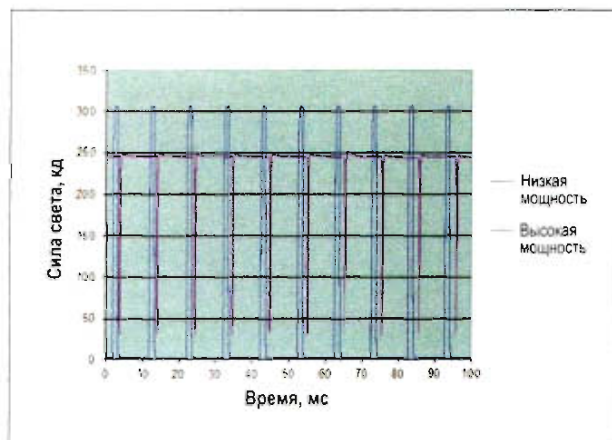


Таблица 1

Сводка результатов измерений фонаря с СД, соответствующих рис. 3

Параметр	Режим низкой мощности	Режим высокой мощности
Пиковая сила света, кд	306	247
Режим работы, %	13,1	98,2
Световая энергия за время 100 мс, кд·с*	3,94	24,0

* Обычно световая энергия (*luminous energy*) измеряется в лм·с (CIE S017.E:2011 «International Lighting Vocabulary», термин 17-733). — Прим. пер.

ляющая осуществлять управление их тепловыми режимами и светорегулирование. Это очень полезно для проектировщиков освещения, но способно усложнить жизнь фотометристов. ШИМ приводит к тому, что источник света быстро включается и выключается много раз в секунду, и тем самым, в зависимости от коэффициента заполнения, мгновенное значение силы света значительно часть времени может быть равным нулю. Это существенно сказывается на стабиль-

ности проводимых измерений, если их временной режим был выбран недостаточно тщательно (см., например, приведённую на рис. 3 зависимость от времени силы света фонаря с СД, имеющего два режима работы).

Если фонарь работает в режиме низкой мощности, то его пиковое значение силы света на самом деле выше, чем при работе в режиме высокой мощности. Это, скорее всего, связано с тепловым режимом: в режиме низкой мощности световой поток из-

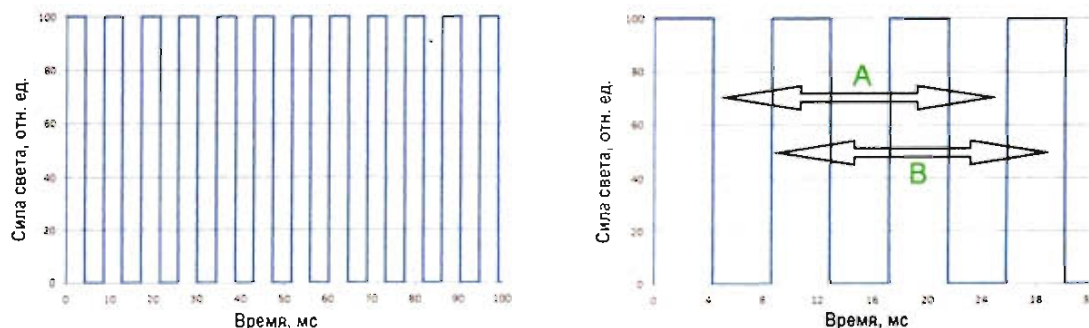


Рис. 4. Гипотетический источник света с широтно-импульсной модуляцией с частотой 116 Гц, максимальной силой света 100 кд и коэффициентом заполнения 50% (слева) и результаты двух измерений этого источника света при разных моментах зажигания (справа)

Таблица 2

Результаты измерений гипотетического источника света, соответствующих левой части рис. 4

Время измерения, мс	Результаты измерений, кд
0–20	56,9
20–40	50,9
40–60	43,1
60–80	55,1
80–100	52,7

лучается в течение небольших промежутков времени и падает до нуля в остальное время. Результаты измерений, соответствующие этим двум режимам работы, приведены в табл. 1.

Как следует из табл. 1, даже несмотря на то, что при работе в режиме низкой мощности пиковое значение силы света на 24 % больше, чем при работе в режиме высокой мощности, из-за малого коэффициента заполнения количество излучаемой световой энергии в первом случае меньше. Если усреднить данные в пределах 100-мс временного интервала, то можно заметить, что световая энергия, излучаемая в режиме высокой мощности, примерно в шесть раз больше, чем световая энергия, излучаемая в режиме низкой мощности, вследствие чего в режиме высокой мощности источник света воспринимается как более яркий.

Фотометры обычно предназначены для измерения света в течение про-

межутков времени (время интегрирования), являющихся целыми кратными периодами напряжения сети питания. Так что при частоте сети 50 Гц время измерения будет равно 20, 40 или 60 мс и т.д. Представьте, что фотометр с временем интегрирования 20 мс не используется для измерения гипотетического источника света с частотой ШИМ 116 Гц (период = 8,62 мс), амплитудой силы света 100 кд и коэффициентом заполнения 50 % (рис. 4, слева).

В правой части рис. 4 приведено расширенное изображение соответствующего тажжиганию участка левой части рис. 4, а также два результата измерений, проведенных с временем интегрирования 20 мс для разных моментов тажжигания. В варианте *A* будут измерены два полных импульса, тогда как в варианте *B* будут измерены 2,6 импульса, и полученное в результате значение будет на 30 % выше, и это несмотря на то, что изме-

ряется один и тот же источник света. Анализ можно продолжить, разделив пример, приведенный в левой части рис. 4, на 5 отдельных периодов длительностью 20 мс каждый (табл. 2).

Среднее значение данных, приведенных в табл. 2, соответствующее результатам одного измерения продолжительностью 100 мс, равно 51,7 кд. Истинная (долгосрочная) средняя сила света должна быть равна 50 кд (100 кд при коэффициенте заполнения 50 %), так что даже при измерениях в течение 100 мс погрешность составляет 3,4 %.

В этом случае правильным было бы подобрать время интегрирования так, чтобы оно соответствовало периоду питания измеряемого источника света. Если время интегрирования фотометра можно было бы выбрать равным 8,62; 17,24 или 34,48 мс и т.д., то это обеспечило бы правильную для этого источника света выборку. Частота ШИМ часто неизвестна, так что оптимальное время интегрирования следует определять экспериментально, регулируя время интегрирования до тех пор, пока колебания результатов измерений будут сведены к минимуму.

3. Направленность СД источников света

Измерение распределения силы света при помощи гониофотометров дальнего поля проводятся в предположении, что размеры светильника «малы» по сравнению с расстоянием измерения. Имеются рекомендации по выбору расстояния измерения: например, согласно [3] это расстояние должно быть не менее чем в 15 раз больше максимального размера излучающего свет участка светильника (это называют правилом 15:1 (*15:1 rule*)), однако эта величина может быть уменьшена до «в 5 раз больше параллельного оси лампы размера излучающего свет участка» в случае источников света с почти ламбертовским (косинусным) распределением (правило 5:1).

Однако в [4] было показано, что даже при выполнении этих рекомендаций по выбору расстояния измерения, измерения светильников с СД, включающих в себя отдельные СД, СД модули или СД матрицы, разделенные большими, не излучающими

Рис. 5. Модель дорожного светильника, состоящего из отдельных СД модулей

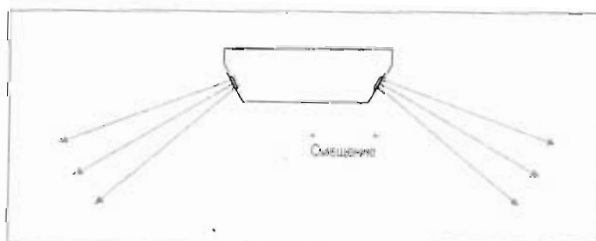
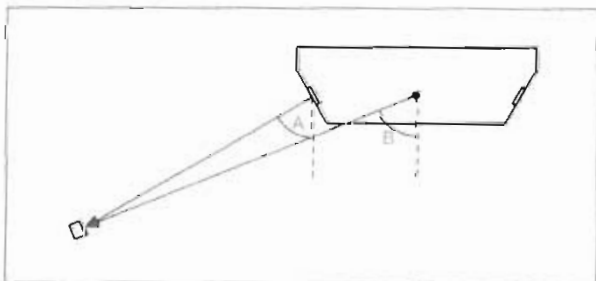


Рис. 6. Модель дорожного светильника, демонстрирующая некорректное определение угла прямого выхода светового потока или угла выхода центрального луча



свет участками, может сопровождаться значительными погрешностями. Рассмотрим модель уличного светильника (рис. 5). Это может восприниматься как крайний случай, однако автору встречались похожие уличные светильники, содержащие отдельные СД модули, которые позволяют получать узконаправленные пучки лучей в нужных направлениях.

При измерении на гониофотометре, этот светильник будет установлен таким образом, чтобы его фотометрический центр совпал с точкой отсчёта гониометра. Однако если гониофотометром измеряют часть пучка лучей в направлении, которое обозначено на рис. 5 стрелками, то свет явно поступает из точек, расположенных к приёмнику ближе, чем точка отсчёта гониометра. Это может привести к погрешностям измерений, которые увеличиваются по мере уменьшения расстояния измерения, но даже при использовании правила 15:1 в случае дорожного светильника с меридиональным углом центрального луча 60° погрешность измерения пиковой силы света может достигать 6,1 % [4].

Возможны и дополнительные погрешности, связанные с определением угла прямого выхода светового потока или угла выхода центрального луча светильника (рис. 6). Угол прямого выхода светового потока обозначен на рис. 6, как A , однако гониометр будет измерять его, как угол B . Хотя рис. 6 является явным преувеличением из-за чрезвычайно близкого местоположения приёмника, встречающиеся на практике погрешности тоже могут оказаться значительными: при использовании правила 15:1 погрешность определения меридионального угла центрального луча может достигать 0,96% [4].

В [4] была предложена идея использования подхода « $D + S$ » при определении минимального расстояния измерения, когда максимальная ширина не излучающего свет участка S прибавляют к размеру излучающего свет участка D . В случаях изображённых на рис. 5 и 6 моделей светильников размер не излучающего свет участка S примерно равен полной ширине излучающего свет участка D , что приводит к практически двукратному увеличению расстояния измерения. Подход « $D + S$ » включён в требования стандарта

Рис. 7. Пример того, как коррелированная цветовая температура СД лампы может изменяться в зависимости от угла относительно оси лампы

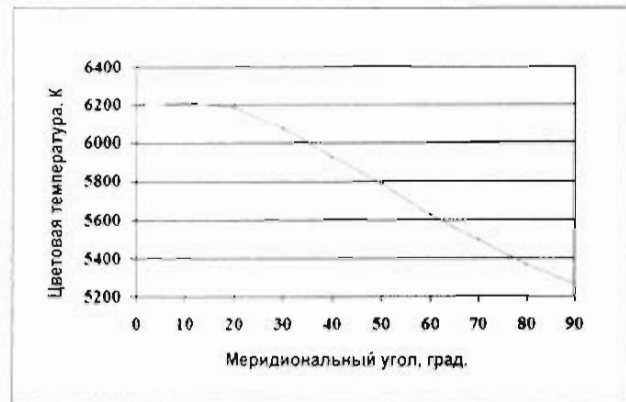
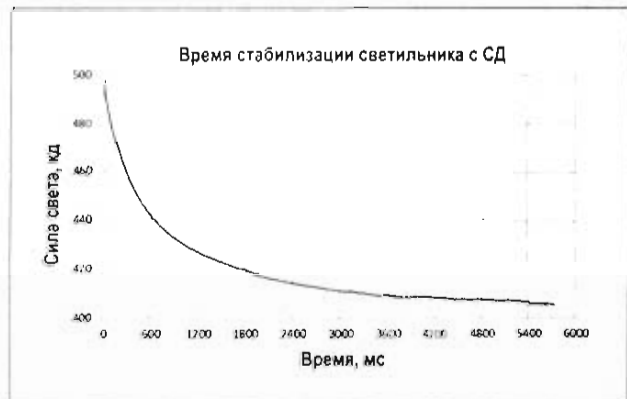


Рис. 8. Уменьшение силы света осветительного прибора с СД по мере его разогрева



[5] к расстоянию гониофотометрических измерений.

4. Угловая зависимость цвета

Традиционные источники света, такие как люминесцентные лампы и разрядные лампы высокого давления, а также светильники с такими лампами, излучают свет, цветовой характеристики которого обычно практически не зависят от угла излучения. Это означает, что в помещении с многочисленными светильниками с лампами одного и того же типа или на дороге, освещённой светильниками с лампами одного и того же типа, цвет излучаемого светильниками света будет достаточно неизменным. Но это не всегда справедливо в случае белых СД, так как несмотря на достигнутые в последние годы успехи свет СД лампы или светильника с СД может сильно зависеть от угла, так что глаз часто может заметить изменение цвета при восприятии комнаты, освещённой осветительными приборами с СД. Пример того, как коррелированная цветовая температура СД лампы может изменяться в зависимости от угла относительно оси лампы, приведён на рис. 7.

Эта угловая зависимость цвета означает, что теперь координаты цветности излучения изделий с СД следует измерять под разными углами, с тем чтобы определить пространственную равномерность цвета. В результате гониофотометры получили более широкое распространение, и теперь стандартной практикой является оснащение гониофотометра не только фотометром, но и спектро радиометром. Методы определения пространственной равномерности цвета содержатся, например, в [5, 6], причём следует отметить, что метод, который приведён в [5], является более строгим (более правильным), чем приведённый в [6] метод.

5. Термические эффекты

Устройства с СД чувствительны к температуре, т.е. их световые характеристики зависят от температуры прибора. После включения прибора его температура возрастает до момента стабилизации, и по мере увеличения температуры световой поток прибора обычно уменьшается. Соответствующий пример приведён на рис. 8, где прибору с СД требуется для стабилизации более полутора ча-

сов, и его сила света уменьшается за это время на, примерно, 20 %.

Поэтому важно точно знать условия стабилизации прибора и учитывать их при измерении осветительных приборов с СД. Согласно [5], СД лампу или светильник с СД можно считать стабилизировавшимся, если:

- Прибор проработал не менее чем 30 мин и
- За последние 15 мин световой поток прибора изменился не более чем на 0,5 %, и
- За последние 15 мин потребляемая прибором мощность изменилась не более чем на 0,5 %.

Однако помимо времени стабилизации имеются и другие факторы, которые влияют на световой поток прибора и которые следует учитывать:

- Температура окружающего воздуха, которая должна быть в нормируемых пределах.
- Воздушные потоки, создаваемые системами кондиционирования воздуха, сквозняками или самим перемещаемым гониофотометром прибором.
- Теплопроводность, обусловленная наличием патронов или других установочных изделий, которые соприкасаются с прибором и отводят от него тепло.

6. Абсолютная фотометрия

Светильники, в которых используются традиционные источники света, такие как люминесцентные лампы, разрядные лампы высокого давления и другие стандартизированные заменяемые источники света, обычно измеряют методами относительной фотометрии. В этом случае значения силы света предварительно относят к световому потоку установленных в канделах на равный 1000 лм световой поток самих ламп. Достоинством такого подхода является то, что проектировщик освещения или архитектор может использовать относительные данные, соответствующие тому типу ламп, который он собирается применить в проектируемой осветительной установке, и затем посредством масштабирования этих относительных данных определить, что же будет иметь место в реальной установке.

Однако в неразборных светильниках с СД заменяемые источники света не используются – такие светиль-

ники снимают и заменяют в конце их срока службы. СД модуль не всегда можно извлечь (или извлечь достаточно аккуратно) для проведения относительных фотометрических измерений. Но это и не требуется, так как измеренный в лаборатории светильник будет (по крайней мере, формально) таким же, как и светильник, установленный в помещении, на дороге, на стадионе и т.д. Поэтому измерения светильников с СД обычно проводятся с использованием абсолютной фотометрии, и сообщаемые результаты – это те данные, которые были получены в лаборатории. Большинство лабораторий имеет оборудование, позволяющее производить абсолютные измерения, так что это не обязательно затрудняет проведение измерений.

Следует также отметить, что в этих случаях КПД светильника равен 100 %!

7. Потребность в стандартизации

Исторически сложилось так, что в различных частях света были разработаны разные методы испытаний осветительных приборов с СД. Это препятствует торговле и затрудняет проведение сравнений, так как результаты измерений, проведённых в соответствии со стандартами одного региона, не всегда можно непосредственно сравнить с результатами измерений, проведённых в соответствии со стандартами другого региона.

Международная комиссия по освещению (МКО) представляет собой независимую некоммерческую организацию, которую Международная организация по стандартизации (ИСО) и Международная электротехническая комиссия (МЭК) признают в качестве международной организации по стандартизации в области света и освещения. В 2011 г. МКО сформировала технический комитет TC2-71 «Стандарты МКО на методы испытаний СД ламп, СД модулей и светильников с СД», задачей которого была разработка стандартных методов фотометрических, колориметрических и электротехнических измерений осветительных приборов с СД. Этот комитет является действительно международным, так как включает в себя 37 представителей из 16-ти стран всех 5-ти континентов.

Результатом работы этого комитета явилась публикация стандарта S025/E:2015 «Методы испытаний СД ламп, СД модулей и светильников с СД» [5]. S025 содержит унифицированный метод испытаний, обеспечивающий гармонизацию испытаний изделий с СД. Национальным и региональным организациям по стандартизации и контрольно-надзорным органам рекомендуется принять S025 и использовать этот стандарт для проведения измерений приборов с СД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ISO/CIE 19476:2014(E). Characterization of the Performance of Illuminance Meters and Luminance Meters.
2. Krüger, U., Blüthner, P. Spectral mismatch correction factor estimation for white LED spectra based on the photometer's f value // CIE x038:2013 Proc. of the CIE Centenary Conference «Towards a New Century of Light», Paris, 2013.
3. CIE 121-1996. The Photometry and Goniophotometry of Luminaires.
4. Bergen, A.S.J., Jenkins, S.E. Determining the minimum test distance in the goniophotometry of LED luminaires // CIE x037:2012 Proc. of CIE2012 «Lighting Quality and Energy Efficiency», 2012.
5. CIE S025/E:2015. Test Method for LED Lamps, LED Luminaires and LED Modules.
6. IESNA LM-79-08. Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products.



Энтони Берген (Tony Bergen).

Физик с более чем 20-летним опытом работы в области фотометрии и радиометрии с упором на гониофотометрию, спектрора-

диометрию, лабораторные исследования и погрешности измерений. Технический директор компании Photometric Solutions International, Австралия. Секретарь отделения 2 МКО, президент австралийского регионального комитета МКО, представитель Австралии в отделении 2 МКО и руководитель ТК 2-77 и ТК2-78 МКО

6. Серов Н. Свет – время – информация / Там же. – С. 52–54.

7. Лекус Е. Световая среда: человек в пространстве современности / Там же. – С. 8–10.

8. Маккуайр С. Медный город: медиа, архитектура и городское пространство. – М.: Strelka Press, 2014. – 527 с.

9. Fuorinen J. Bringing back the narrative / Тезисы докладов Международной научно-практической конференции «Световой дизайн». – Санкт-Петербург: Уи-т ИТМО, 2016. – С. 14–16.

10. Narboni R. Urban lights, nocturnal urbanity / Там же. – С. 16–17.

11. Масорин А. Мастер-план освещения исторического центра Великого Новгорода / Там же. – С. 26–27.

12. Хаджин А. Искусственный свет в зелёных рекреациях вдоль улиц и магистралей столицы. Внутри, снаружи и на Садовом кольце / Там же. – С. 23–24.

13. Котцева Н., Тарасенко В. Световое решение как импульс к изменениям городского пространства / Там же. – С. 17–19.

14. Ситкина М. Световое искусство в дизайне городского оборудования / Там же. – С. 20–22.

15. Kofgushkina S., Zhitlov V. Research methodology for urban lighting environment using eye-tracking technologies / Там же. – С. 27–28.

16. Шальнева Н. Свето-цветовые эффекты и оптические иллюзии в наружном освещении / Там же. – С. 24–25.

17. Дубиновская А. Исследование влияния цветного света на восприятие формы / Там же. – С. 35–37.

18. Быстрицкая Н. Задачи современного образовательного процесса / Там же. – С. 42–44.

19. Карпенко В. Свет как смысл: световая композиция в учебном проектировании процесса / Там же. – С. 48–49.



Лекус Елена Юрьевна, кандидат культурологии. Окончила в 2000 г. СПбГХПА им. А.Л. Штиглица и в 2013 г. – аспирантуру Московского гуманитарного университета.

Доцент Высшей школы светового дизайна Университета ИТМО и кафедры искусства, образования и культурологии Центра инновационных образовательных проектов СПбГХПА им. А.Л. Штиглица. Член творческого объединения светодизайнеров RULD, творческого объединения «Студия креативной вещи» и Ассоциации искусствоведов. Соавтор и художник скульптурного ансамбля «Первая скрипка». Лауреат Всероссийской выставки «DESIGN LAND 09».

Seoul Semiconductor и Toshiba Materials представили светодиоды с широким спектром излучения

Компании *Seoul Semiconductor* и *Toshiba Materials* на пресс-конференции в Германии представили новые корпусированные светодиоды (СД) серии «SunLike», которые этим летом поступят в продажу в Сеуле и частично основаны на люминофорах «TRI-R» компании *Toshiba*. Эти СД будут иметь равномерный широкий спектр излучения (СИ), больше похожий на СИ солнца, чем на типичные СИ белых СД. В них использованы фиолетовый (400–410 нм) кристалл и тройная смесь – красного, зелёного и синего – люминофоров, что обеспечивает хорошую цветопередачу и исключает пик излучения в синей части спектра, который обычно ассоциируется с СД на основе синих кристаллов.

Директор по маркетингу компании *Toshiba Materials* сказал, что СД на основе люминофора TRI-R получают близкую к 100 оценку цветопередачи в метриках R_f (точность) и R_g (папирта), введённых стандартом TM-30, выпущенным МКО в 2015 г. с целью для замены общего индекса цветопередачи R_a (правда, TM-30 пока что не получил международного признания). СИ СД на основе «TRI-R» и обычных белых СД показаны на рисунке (слева и справа соответственно).

СД «SunLike» похожи на СД компании *Soraa* (на базе фиолетового кристалла), не имеющие синего пика.

Андреас Вайсл, исполнительный директор и вице-президент по продажам в Европе компании *Seoul Semiconductor Europe*, отметил, что

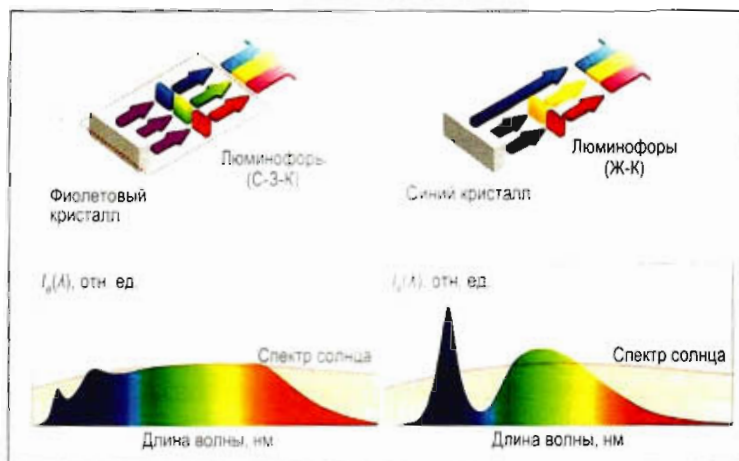
СД серии *SunLike* в первую очередь предназначены для освещения жилищ, объектов здравоохранения и архитектуры, гостиничного бизнеса и розничной торговли. Именно там важно качество света. И широкий равномерный спектр излучения этому соответствует.

Кроме того, по словам Вайсла, СД «SunLike» найдут применение и в таких областях, которые неохотно принимали СД источники света. Одним из примеров служит сельское хозяйство, в котором СД хорошо проявили себя при освещении ряда культур, но не имеют, как у НЛВД широкого спектра и большой доли излучения в жёлто-зелёном диапазоне. (Согласно современным представлениям, культуры, направленные на получение большой биомассы, помимо красного и синего света нуждаются ещё в жёлтом и зелёном свете.)

Кроме того, уже одно только исключение синего пика может сделать эти изделия более безопасными для здоровья людей.

Seoul Semiconductor не сообщила никаких подробностей о технических характеристиках новых СД, если не считать упомянутые выше метрики из TM-30. В то же время, *Seoul Semiconductor* отметила, что световая отдача новых СД будет на 10% ниже, чем у наилучших СД этой компании. Однако этот недостаток присущ всем СД с высоким качеством цветопередачи.

ledsmagazine.com
27.06.2017





Светодиоды для выращивания растений и агрокультур



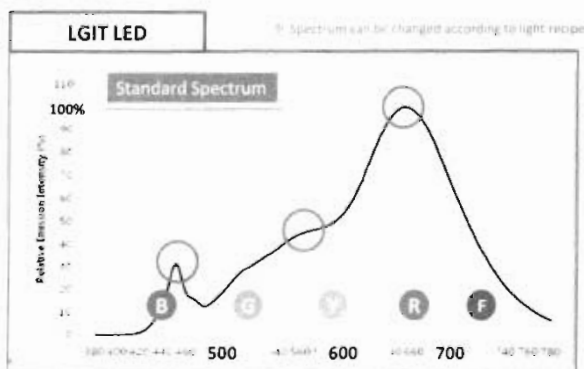
① Анод (+)

② Катод (-)

Для выращивания растений в теплицах или искусственных помещениях необходимо обеспечить растениям оптимальные условия фотосинтеза. Основные условия – это температура и освещенность. Осветительные приборы должны обеспечивать излучаемый спектр света, близкий к естественному спектру солнца. Такой спектр довольно сложный, в нем содержится излучение от ультрафиолетового до инфракрасного с пиками голубого и красного цветов.

Корейский производитель LG Innotek производит светодиоды для выращивания растений, которые обеспечивают высококачественный белый свет с индексом CRI>90 и имеющие наиболее близкий к естественному солнечному свету спектр излучения.

Пики спектра светодиодов LG Innotek с цветовой температурой 2700K и коэффициентом цветопередачи CRI>90 как раз находятся на необходимых для фотосинтеза уровнях 650nm красного цвета и 450nm синего цвета, которые влияют на рост, проращивание и плодоношение растений. Новые светодиоды излучают наиболее естественный свет для растений и человека в диапазоне от 400 до 780 нм. Благодаря высокому индексу цветопередачи CRI>90 не только растения хорошо растут, но и человеку очень удобно работать, обслуживать тепличные комплексы и растения.



Наименование	Мощность, Вт	ССТ (K)	Средний световой поток (лм)	Ifmax (mA)	Напряжение, (В)		Индекс CRI (Ra)
					мин	макс	
LEMWS51R90MZ3A00	0,2...0,6	2700	23лм при 65mA 49,2лм при 150mA	200	0,75	3,05	>90
LEHWH51W90MH3A00	0,6...1,6	2700	59,7лм при 20mA 120лм при 42mA	50	28,5	36,5	>90

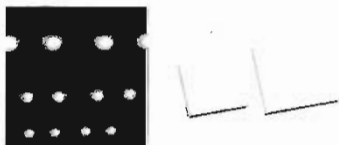


Световые решения для растениеводства

Ускорение темпов роста • Более интенсивный аромат • Эффективный производственный процесс • Экономия энергии

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ

Компания Vossloh Schwabe адаптирует новейшие COB технологии и объединяет их с оптикой, блоками питания, датчиками и вариантами управления согласно вашей конкретной задаче. Общась с клиентами и понимая их требования, мы можем планировать, разрабатывать и производить решения, которые реализуются в тесном сотрудничестве с нашими клиентами и соответствуют требованиям конкретного проекта.



СТАНДАРТНАЯ ПРОДУКЦИЯ

Многолетний опыт и накопленный опыт успешно реализованных проектов позволяют нам разрабатывать стандартные решения. Наши серийные продукты работоспособны и могут быть встроены в существующие системы в качестве отдельных компонентов.



СОЗДАНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ СПЕКТРОВ

Каждый вид растений нуждается в определенном спектре света для оптимизации процесса роста и формирования плодов. Сочетание выбранных длин волн и специальных составов люминофора открывает поле для адресного воздействия на растения.

