

Проблемы современной стандартизации в световых измерениях изделий со светодиодами

Г. ЛЕШХОРН¹

Компания *Instrument Systems*, Мюнхен, Германия

Аннотация

Выполнение основного условия успешной разработки и развития хороших систем освещения обеспечивается наличием точной и надёжной системы измерений. Международные стандарты гарантируют, что лаборатории всего мира применяют одинаковые условия измерений и что получаемые результаты можно сравнивать друг с другом. В прошлом в области светодиодных ламп и светильников со светодиодами стандарты подобного типа отсутствовали. Эта эра «недостандартизации» завершилась несколько месяцев назад, когда МКО разработала проект соответствующего стандарта, который был впервые опубликован в сентябре 2014 г. и имеется в продаже. В будущем новый стандарт ляжет в основу международной стандартизации в области фотометрических измерений светотехнических изделий со светодиодами. В статье приводятся основные положения этого стандарта и проблемы с его применением. В ней также даются примеры правильного применения нового стандарта.

Ключевые слова: спектрорадиометр, гониофотометр, стандарты.

1. История стандартизации методик измерений, применяемых при испытаниях изделий со светодиодами

В прошлом, из-за отсутствия альтернатив, при измерении характеристик изделий со светодиодами (СД) эффективно применялась, с 2008 г., в качестве международного стандарта методика испытаний *LM-79–2008*, разработанная подкомитетом «Освещение светодиодами» комитета «Комитет по методам испытаний» Североамериканского светотехнического

общества. Однако, будучи чисто американским стандартом, *LM-79* международному распространению в качестве основы при проведении аккредитации не получила. Параллельно этому североамериканскому стандарту существовали и такие национальные стандарты, как проект стандарта *DIN5032–9* в Германии, стандарты *CQC* и *GB* в КНР и методы испытаний *JIS* в Японии.

На протяжении многих лет комитеты по стандартизации работали над устранением этого недостатка путём создания национальных стандартов. В результате в 2013 г. был опубликован европейский стандарт *prEN13032–4:2013*, разработанный рабочей группой *WG7* «Фотометрия» технического комитета *CEN/TC169* «Свет и освещение». Секретариат этого комитета возглавляет немецкая организация по стандартизации *DIN German Standards Organization*. Рабочий комитет «Фотометрия» Комитета по стандартизации в области светотехники (*FNL*), входящего в состав

DIN German Standards Organization, отвечал за разработку национального немецкого варианта. Одновременно, в тесном взаимодействии с рабочей группой *WG7*, над имеющим такое же содержание стандартом работал технический комитет *TC2–71* МКО. Осенью 2014 г. был опубликован проект стандарта *CIE DIS025:2014* [1]. Это было важной вехой в разработке международного стандарта, посвящённого анализу и представлению фотометрических данных СД-ламп, светильников с СД и СД-модулей. В отличие от *LM-79*, который не охватывает СД-модули, этот стандарт охватывает и их, и СД-лампы, и так называемые СД-световые машины (*light engines*), и светильники с СД. Единственные устройства, которые не были включены в проект стандарта, – это СД-сборки и изделия на базе органических СД. Утверждение стандарта МКО ожидается в течение 6 мес², после чего *CIE S025* планируется опубликовать как «тройственный» стандарт ИСО/МКО/МЭК. Новый стандарт будет первым международным руководством по методам измерений характеристик изделий с СД и окажет значительное влияние на предлагаемую гармонизацию (рис. 1).

² Стандарт МКО *CIE S025/E:2015* «Методы испытаний СД-ламп, светильников с СД и СД-модулей» был утверждён в марте 2015 г. – Прим. пер.



Рис. 1. Упрощённая ситуация в области международной стандартизации светотехнических измерений. Новый международный стандарт окажет существенное влияние на желательные гармонизацию и сопоставимость разных метрологических и аккредитующих учреждений (обозначены красными стрелками)

¹ E-mail: boris@biquantex.com
Перевод с англ. Е.Н. Розовского

Стандартные условия испытаний и доверительные интервалы согласно [1]

	Стандартные условия испытаний	Доверительный интервал	Применимо к
Температура окружающего воздуха	25,0 °C	± 1,2 °C	СД-лампам/светильникам, световым машинам
Температура на поверхности	Номинальная рабочая температура t_p	± 2,5 °C	СД-модулям
Движение воздуха	Неподвижный воздух	0–0,25 м/с	
Испытательное напряжение/Испытательный ток	Номинальное напряжение, номинальный ток	± 0,4% для среднеквадратичного (действующего) значения в случае переменного напряжения; ± 0,2% для постоянных тока и напряжения	

2. Новый стандарт и его содержание

LM-79–2008 содержит ограничения, накладываемые на измерительное оборудование, что, принимая во внимание последние достижения в области проведения исследований, не является абсолютно необходимым для получения точных и надёжных результатов измерений. Кроме того, многие пользователи стандарта строго придерживаются приведённых в нём формулировок. В результате некоторые измерительные системы и испытательные установки, способные обеспечивать получение эквивалентных и даже улучшенных результатов измерений, могут оказываться дисквалифицированными.

CIE DIS025:2014 не содержит вышеуказанные ограничения стандарта *LM-79*. В принципе, разрешены любые методы проведения измерений. Однако иногда требуется подтверждение того, что используемый метод обеспечивает получение результатов, эквивалентных получаемым при использовании общепринятого метода измерений.

Измеряемые характеристики, охватываемые новым стандартом, включают в себя световой поток (включая парциальный световой поток и производные параметры, такие как световая отдача), распределение силы света, яркость и колориметрические величины, такие как координаты цветности, коррелированная цветовая температура T_c , расстояние от линии чёрного тела Duv , индексы цветопередачи и угловая однородность цвета. Приведены схемы испытательных установок, рекомендуемых для измере-

ния всех этих характеристик, и некоторые ограничения. Так, для измерения светового потока СД-модулей, СД-ламп и небольших светильников с СД рекомендуется использовать фотометры и спектрорадиометры в сочетании с интегрирующей сферой. Однако для измерений светового потока крупногабаритных светильников и распределения силы света необходимо использовать гониофотометры или гониоспектрорадиометры. При этом следует пользоваться системой координат (C, γ) МКО. Разрешающая способность измерений, то есть указанный пользователем угловой интервал, определяется с учётом типа распределения силы света и его симметрии, с тем чтобы сделать возможной проведение интерполяции при последующей обработке данных. Классический трёхцветный колориметр не входит в число приборов для определения значений колориметрических величин, и для их измерения разрешено применять только интегрирующие сферы со спектрорадиометрами и гониоспектрорадиометрами.

3. Стандартные условия испытаний и коррекция условий испытаний

Для исключения ненужных ограничений в выборе методов испытаний, с одной стороны, при одновременном обеспечении точности, надёжности и сопоставимости результатов измерений – с другой, *CIE DIS025:2014* регламентирует как единообразные стандартные условия испытаний (табл. 1), так и особые требования и пользование приборами (табл. 2). Эти условия касаются лабораторий,

окружающей среды и испытательного оборудования. Для каждого стандартного условия испытаний указываются соответствующие номинальное значение и допустимое отклонение, задаваемое доверительным интервалом. Так как в определении понятия «доверительный интервал» ничего не говорится о погрешности измерения, то для измерительного прибора можно использовать другую характеристику точности. Интервал, определяемый посредством преобразования расширенной погрешности градуировки (двойное среднеквадратичное отклонение) используемого прибора, известен как интервал приемлемости (рис. 2). При проведении удовлетворяющих требованиям стандарта измерений измеренное значение параметра должно лежать в пределах интервала приемлемости. Для уменьшения погрешности измерения результаты измерения могут корректироваться так, чтобы получать лежащее в пределах доверительного интервала номинальное значение. В ряде случаев можно вносить коррективы и в особые требования к испытательной установке.

Проводящий испытания работник отвечает за определение суммарной погрешности измерения. Следует принимать во внимание побочные факторы, вносящие вклад в погрешность измерения, например, возникающие в результате проведения коррекции. Стандарт рекомендует проводить анализ погрешности измерения в соответствии с *ISO/IEC Guide 98–3* или *CIE198*. Определять суммарную погрешность измерения очень трудно, особенно для колориметрических параметров, определяемых на основе спектральных данных. МКО работает

Сводка особых требований, предъявляемых стандартом [1] к измерительным приборам

Погрешности градуировки вольтметров и амперметров	Переменный ток: $\leq 0,2\%$ Постоянный ток: $\leq 0,1\%$
Погрешность градуировки и частотный диапазон ваттметра переменного тока	$\leq 0,5\%$ Частотный диапазон ≥ 100 кГц ¹
Полное внутреннее сопротивление вольтметра	≥ 1 Мом ²
Смещение и флуктуации источника питания	В приемлемых для испытательного напряжения и испытательного тока пределах
Коэффициент гармоник и неопределённость частоты рабочего напряжения	$\leq 1,5\%3$ $\pm 0,2\%$ от нужной частоты
Переменная составляющая в случае источника постоянного тока	$\leq 0,5\%$ (среднеквадратичное значение)
Электрическая и фотометрическая стабилизация испытываемого устройства	СД-лампы и светильники: ≥ 30 мин, причём относительная разность максимального и минимального значений рассматриваемой величины, измеренных в предшествующие 15 мин, должна быть $< 0,5\%$ СД-модули: рабочая температура t_p , достигнутая и сохраняющаяся в течение 15 мин в интервале ± 1 °С
Спектральная чувствительность фотометра	Показатель качества коррекции под $V(\lambda) f_i' \leq 3\%$
Площадь поверхности испытываемого устройства при измерениях в интегрирующей сфере	4π : $\leq 2\%$ площади внутренней поверхности сферы 2π : диаметр апертуры сферы $\leq 1/3$ диаметра сферы
Косинусная коррекция приёмника для интегрирующей сферы	Коэффициент косинусной коррекции $f_2 \leq 15\%$
Повторяемость при открывании/закрывании сферы	$\pm 0,5\%$
Стабильность спектральной чувствительности сферы между калибровками	$< 0,5\%$
Диапазон и неопределённость длин волн в случае спектро радиометра	380–780 нм $\leq 0,5$ нм ($k = 2$)
Интервал длин волн и интервал сканирования спектро радиометра	≤ 5 нм
Угловое смещение и разрешение угловой шкалы гониофотометра	$\leq 0,5^\circ$ $\leq 0,1^\circ$
Расстояние фотометрирования	Ширина луча $\geq 90^\circ$: $\geq 5 \times D$ Ширина луча $\geq 60^\circ$: $\geq 10 \times D$ Узкий луч/резкие изменения: $\geq 15 \times D$ Большие несветящиеся участки с максимальным расстоянием S : $\geq 15 \times (D + S)$
Положение горения	Измерения производятся в оговоренном положении горения или с поправкой для приведения результатов в соответствие с поведением испытываемого изделия при его работе в оговоренном положении горения ⁴

¹ При отсутствии высокочастотных компонентов допустимы 5 или 30 кГц.

² При испытаниях устройств с высокими значениями полного сопротивления необходимо использовать измерительные приборы с даже более высокими значениями полного внутреннего сопротивления.

³ $\leq 3\%$ при коэффициентах мощности $> 0,9$.

⁴ Не обязательно в случае СД-модулей с регулировкой температуры.

над так называемой Технической запиской (*Technical Note*), которая в будущем должна дополнить стандарт для помощи в этом деле.

Следующий пример поясняет правильность применения стандартных условий испытаний, номинального значения, доверительного интервала

и интервала приемлемости. Для температуры окружающего воздуха стандартом задаётся доверительный интервал $\pm 1,2$ °С при номинальном значении этого параметра, равном 25 °С. Используя термометр с расширенной (коэффициент запаса $k = 2$) погрешностью градуировки в 0,2 °С получа-

ем интервал приемлемости в ± 1 °С. Так что показания этого термометра, лежащие в пределах от 24 до 26 °С, соответствуют условиям измерения, удовлетворяющим требованиям стандарта. Если, например, термометр показывает 25,5 °С, то коррекцию проводить не обязательно, и в суммар-

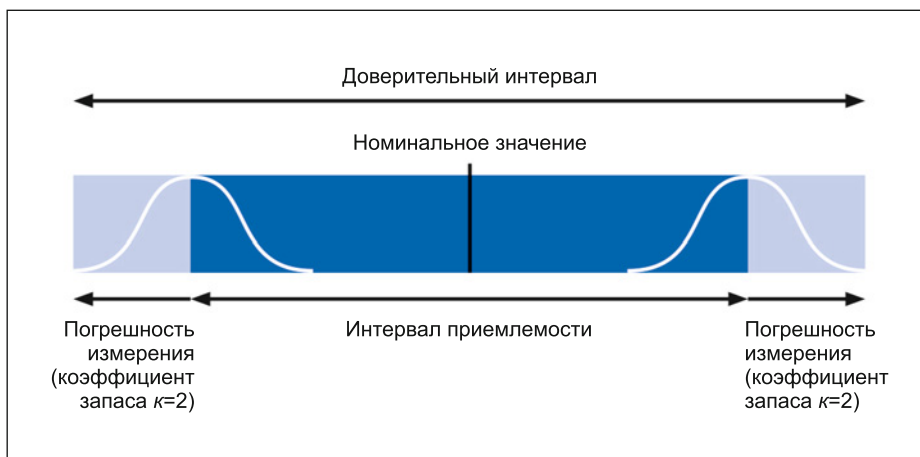


Рис. 2. Связь между номинальным значением, расширенной погрешностью измерения, доверительным интервалом и интервалом приемлемости. Доверительный интервал не учитывает погрешность измерения



Рис. 3. Схема корректировки положения программным обеспечением

ную погрешность измерения следует включить значение $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ в качестве отклонения от номинального значения и $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ как погрешность измерения).

Если испытатель хочет снизить суммарную погрешность измерения даже при соблюдении стандартных условий испытаний, сделать это можно дополнительной коррекцией. Для приведения значения, измеренного при $25,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, к значению, измеренному при $25,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, следует провести соответствующее испытание, которое позволяет определить поправочный множитель, зависящий от коэффициента чувствительности испытуемого прибора. Световому потоку СД-лампы обычно соответствует относительная чувствительность к изменению температуры окружающего воздуха, равная $0,5\%/^{\circ}\text{C}$.

Если условие проведения испытания выходит за рамки соответствующего доверительного интервала или не были удовлетворены частные требования к измерительным приборам, то испытание для определения кор-

ректирующего множителя может проводиться по этой же методике. В следующем разделе приведён пример применения подобной коррекции.

4. Пример: коррекция положения в случае гониоспектро радиометра

Если требования *LM-79* понимать дословно, то в области гониоспектро радиометрии разрешается использовать только гониометры с поворачиваемым приёмником или гониофотометры с поворачиваемым зеркалом. Недостатки такого подхода, такие как ограничение максимального размера образца, помещаемого в гониометр с поворачиваемым приёмником, или строгие требования к испытательной лаборатории и большие капиталовложения в случае гониофотометра с поворачиваемым зеркалом, хорошо известны. Как уже отмечалось, в новом стандарте строгие ограничения отсутствуют. Это означает, что в дополнение к упомянутым выше гониометрам разрешено ис-

пользовать и оборудование других типов, например гониометры с системой поворачивания светильника (гониометры с поворачиваемым светильником). Эти компактные и сравнительно недорогие гониометры дальнего поля позволяют избавиться от упомянутых недостатков, которые присущи гониометрам других типов.

К недостаткам гониометров с поворачиваемым светильником можно отнести невозможность исследования некоторых испытываемых образцов при требуемом положении горения. Однако новый стандарт, в принципе, разрешает проведение измерений этого типа. Хотя реализуемые условия испытания выходят за рамки допустимых отклонений, поведение испытуемого прибора в заданном положении горения может корректироваться введением соответствующих поправок. Один из вариантов осуществления подобной коррекции – так называемый метод вспомогательного фотометра. Помимо реального приёмника используется ещё и контрольный вспомогательный фотометр. Положение последнего относительно испытуемого прибора поддерживается постоянным на всём протяжении измерений. Так называемое опорное значение определяется на 1-м этапе корректировки (рис. 3). Опорное значение – это значение фототока вспомогательного фотометра, измеренное после стабилизации источника света в заданном положении горения. Так что в положении горения требуется провести только одно единственное измерение, что легко осуществимо на дополнительной установке.

Результирующий поправочный коэффициент измеряется на 2-м этапе корректировки. Он определяется на основе отношения опорного значения (фототока) к значению фототока вспомогательного фотометра для каждой пары углов (*angle pair*), задаваемой гониометром (и, следовательно, для любого положения, не совпадающего с заданным положением горения). Так что предложенная методика позволяет проводить измерения в соответствии с требованиями стандарта, а её качественная реализация позволяет легко корректировать результаты измерений: проводить коррекцию положения при помощи специальной компьютерной программы, что является существенным достоинством с точки зрения пользователя. Поми-



Рис. 4.
Гониофотометр
LGS1000

мо очевидных достоинств, заключающихся в простоте реализации и наличии конкретных указаний о порядке действий, это программное обеспечение позволяет оператору сберечь ценное время, затрачиваемое на проведение измерений, и избежать ненадлежащей реализации процесса внесения поправок. Сокращение времени измерения обусловлено двумя обстоятельствами:

- Во-первых, причиной того, почему работа некоторых СД-источников света зависит от их положения, является возможное нарушение конвективного потока воздуха через рёбра радиатора. Однако в случае гониометров с поворачивающимся светильником, относящихся к типу *C*, изменения угла γ не приводят к каким бы то ни было изменениям ориентации испытываемого прибора по отношению к направлению силы тяжести. Поэтому следует ожидать, что для определения поправочных коэффициентов требуется только одно дополнительное измерение, занимающее несколько секунд (поворачивание вокруг оси *C* при фиксированном угле γ).

- Во-вторых, если проводятся испытания нескольких относящихся к одной партии идентичных источников света, стандарт разрешает использовать поправки, соответствующие

типовому источнику света. В результате существенно сокращается время, требующееся для определения поправочного коэффициента.

Для примера, на рис. 4 показан гониофотометр *LGS1000* с интегратором светового потока, фотометром и радиометром, в котором реализован данный подход к проведению измерений.

Интегратор светового потока – вспомогательное оборудование, предоставляющее возможность «компактным» образом определять полные световые потоки ламп и модулей, установленных в требуемом положении горения. Положение образца в процессе измерений остаётся неизменным, а приёмник движется вокруг испытываемого образца по окружности этот образец сферической поверхности.

Сообразно требованиям конкретной задачи интегратор может поставляться в двух вариантах. В первом из них в качестве приёмника используется быстродействующий фотометр, и это экономически эффективный вариант. Второй вариант содержит фотометр и спектрометр, обеспечивающие полный набор возможностей. Он сочетает быстродействие фотометра и возможность проведения очень точных спектрорадиометрических расчётов всех характеристик.

Как и в случае стандартной конфигурации, испытываемый образец может питаться от источника переменного тока, а электрические характеристики образца могут измеряться при помощи комбинированного измерителя мощности и в случае использования интегратора светового потока.

5. Заключение

Новый стандарт на фотометрические испытания светотехнических изделий с СД уже может быть внедрён на европейском и международном уровнях. Требования к методам измерений и оценки уже сформулированы. Новый стандарт предоставляет большую свободу выбора, но при этом требует от пользователя большей ответственности. Сложность обеспечения рабочих условий, требования в методиках измерений и определение полной погрешности требуют высокой квалификации. Приведённые в статье примеры, в частности введение поправки на положение горения, должны помочь правильному пониманию требований нового стандарта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. CIE DIS025/E:2014, Test Method for LED Lamps LED Luminaires and LED Modules, CIE Wien, 2014 (<http://www.techstreet.com/cie/products/1883425>).
2. EN18032-4:2013, Light and Lighting-Measurement and presentation of photometric data. Part4: LED lamps, modules and luminaires.
3. IES LM-79-08, Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products.



**Гюнтер
Лешхорн
(Günther
Leschhorn), Ph.D.**

Окончил
Мюнхенский университет по специальности «Физика».
В компании

Instrument Systems в начале работал менеджером по продукции для спектрометрии, спектрорадиометрии и освещения светодиодными, а в настоящее время руководит менеджментом всей продукции этой компании. Специалист в области спектроскопии единичных молекул и сверхбыстрого лазерного взаимодействия