

Генрих Азизян | kv68@mail.ru | Сергей Никифоров | sgnikiforov@arhighlight.ru

Эталонный светодиодный источник света для калибровки фотометрического оборудования

Эталонный источник излучения на основе светодиодов предназначен для калибровки измерительных систем, проведения сравнений (сличений) различных метрологических комплексов, а также применяется при измерениях с обязательным применением калиброванных источников (в сферическом интеграторе). Источник передает фотометрические, радиометрические и колориметрические единицы одновременно.

Подавляющее большинство фотометрического измерительного оборудования использует классические методы измерения светового потока, силы света, мощности излучения. Это, как правило, гониофотометрический метод, как наиболее точный, и измерение светового потока с помощью сферического интегратора (в фотометрическом шаре). Однако все эти методы периодически, а если говорить об измерениях в шаре, то и при каждом измерении, требуют калибровки фотодатчиков и всего измерительного тракта по ряду параметров. Существующая нормативная база оговаривает применение в качестве вторичных (рабочих) эталонных лампы силы света СИС или светового потока — СИП, представляющие собой источник типа «А». Однако спектральный состав излучения светодиодов, особенно монохромных, существенно отличается от состава спектра источника типа «А», поэтому корректность измерений светодиодов и устройств на их основе значительно искажается — вплоть до непригодности имеющихся средств измерений ввиду слишком большой погрешности, особенно на крайних (в видимом диапазоне) длинах волн (красного или синего цвета свечения). Выходом из такой ситуации при сохранении схем измерения с использованием калибровки от опорного источника может стать специально разработанный и предлагаемый как приложение (например, к гониофотометрическим установкам типа «Флак») эталонный источник излучения на основе светодиодов.

Для передачи и воспроизведения светотехнических единиц обычно используются светоизмерительные лампы силы света, перекрывающие диапазон от единиц до нескольких тысяч кандел или диапазон светового потока от десятка до тысяч люмен. Светоизмерительные

лампы типа СИС или СИП обладают хорошей стабильностью и воспроизводимостью, однако им присущ ряд недостатков, к которым следует отнести использование специализированного прецизионного источника питания, необходимость регулярной, иногда довольно частой, перекалибровки, поскольку световые характеристики лампы существенно изменяются по мере наработки. Калибровка светоизмерительной аппаратуры в коротковолновой части видимого спектра обычно сильно затруднена из-за бедности составляющих спектра указанных ламп (являющихся лампами накаливания) в этом диапазоне. Иногда для калибровочных нужд используются обычные галогенные лампы, которым присущи аналогичные недостатки.

По мере развития новых источников света на основе мощных светодиодов все более актуальной становится необходимость располагать относительно дешевым и простым в эксплуатации эталонным источником света, который можно было бы использовать в производственных или в лабораторных условиях и который не требовал бы дополнительной перекалибровки по крайней мере в течение всего межповерочного интервала подвергающегося калибровке оборудования, как правило, длительностью в один-два года. Эталонные источники света, построенные на основе мощных светодиодов, по-видимому, могли бы вполне удовлетворительно решить эту задачу. Следует отметить, что ряд фирм, производящих спектроизмерительную аппаратуру, например OceanOptic [1] или StellarNet [2], выпускают аналогичные источники света на основе маломощных 5-мм светодиодов, однако такие источники вряд ли можно рекомендовать к использованию в означенных целях, поскольку, во-первых, они обладают малыми значениями силы света или потока, а во-вторых, маленькие диоды достаточно

трудно стабилизировать по температуре излучателя, что совершенно необходимо, если мы хотим рассматривать светодиод как источник стабильного по величине светового потока или стабильной силы света. Зависимость светового потока от температуры излучателя (светодиода), приводимая, например, фирмой Cree для своей продукции [3], показывает, что при изменении температуры на один градус Цельсия интенсивность свечения белого светодиода может измениться на 0,2–0,3%. Еще сильнее зависимость от температуры проявляется для светодиодов других цветов. Особенно велика она для желтых, где эта зависимость может достигать 2–3% на один °C (табл. 1). Зависимость интенсивности свечения диода от силы тока носит приблизительно линейный характер и, грубо говоря, пропорциональна току. Таким образом, совершенно ясно, что если мы хотим использовать светодиодный источник света в качестве эталона, то нам совершенно необходимо жестко стабилизировать как ток питания светодиода, так и его рабочую температуру. Только при этих условиях можно надеяться на возможность длительной и стабильной работы светодиодов без необходимости регулярной калибровки.

Вообще говоря, следует разделить задачи калибровки таких приборов, как различного рода фотометры, фотоизмерительные шары, и спектральных приборов, которые требуют обычно как широкополосных источников света, которые охватывали бы всю рабочую область спектрофотометра или спектрорадиометра, так и линейчатых источников — для калибровки спектрометров по длинам волн. В настоящей статье рассматриваются эталонные источники

Таблица 1. Температурные коэффициенты интенсивности свечения светодиодов по данным фирмы Cree

Цвет	Коэффициент, %/°C
Синий	0,12
Зеленый	0,2
Желтый	1,7
Оранжевый	0,7
Красный	0,5
Белый	0,23

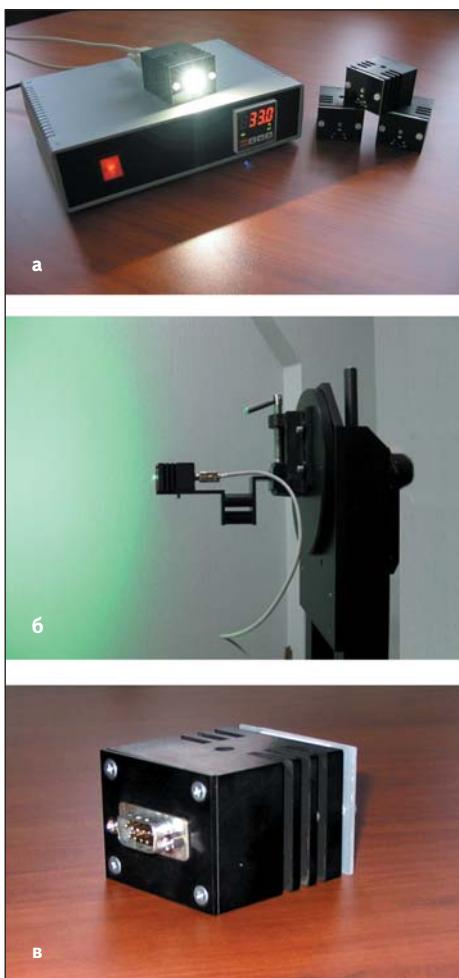


Рис. 1. а) Внешний вид эталонного источника (контроллер со светоголовками); б) вариант установки светоголовки на гониофотометр типа «Флак» для проведения калибровки; в) внешний вид светоголовки и разъема ее подключения к контроллеру

света, предназначенные преимущественно для калибровки гониофотометрических установок и фотометрических шаров. На рис. 1 приведены фотографии эталонного источника света со светоголовками и вариант монтажа на гониометр установки типа «Флак» для калибровки фотометрического тракта. Эталонный источник света состоит из двух частей: контроллера и светоголовки с мощным светодиодом Cree типа XR-E. Контроллер предназначен для стабилизации рабочего тока светодиода на уровне примерно 300 мА и стабилизации рабочей температуры платы со светодиодом. Стабильность рабочего тока, в основном, зависит от стабильности опорного напряжения контроллера и стабильности токоизмерительного резистора, которые, как правило, достаточно высоки (по крайней мере, не хуже 0,02% на 1 °С).

Рабочая температура платы со светодиодом, которая располагается на светоголовке, стабилизируется при помощи элемента Пельтье, который, в свою очередь, располагается между платой со светодиодом и массивным радиатором, служащим для отвода тепла. Плата изготовлена

из фольгированного алюминия. Стабилизация температуры платы производится температурным контроллером Autonic и дополнительной электроникой, предназначенной для регулирования тока через элемент Пельтье. В зависимости от направления тока через элемент Пельтье последний может как нагревать, так и охлаждать плату со светодиодом. При этом температура платы непрерывно контролируется платиновым термосопротивлением фирмы Honeywell, которое расположено на плате в непосредственной близости от светодиода. Термосопротивление имеет вид обыкновенного чип-резистора габарита 1206. Элемент Пельтье размером 30×30 мм, расположенный между платой и радиатором, обеспечивает необходимый контроль за температурой платы и поддерживает ее рабочую температуру с точностью ±0,1 °С.

Рабочая температура платы может быть установлена с помощью кнопок на контроллере вручную — так, как обычно программируются температурные контроллеры. В целях сокращения количества тепла, выделяемого в светоголовке, была выбрана рабочая температура в +30...+40 °С. Однако это значение не является критическим: ее можно было бы выбрать любой в диапазоне +10...+60 °С. Нижняя граница диапазона определяется точкой росы в лаборатории, то есть такой температурой платы, когда на ней начинает конденсироваться влага, всегда присутствующая в воздухе, а верхняя граница определяется мощностью использованного элемента Пельтье и возможностями примененного источника питания в контроллере. Поскольку в светодиоде выделяется тепловая мощность порядка 1 Вт, было признано целесообразным установить рабочую температуру на уровне +30...+40 °С, что вынуждает элемент Пельтье работать в режиме слабого охлаждения. Это приводит к заметному сокращению потребляемой мощности и позволяет разместить все устройство в пластиковой коробке с габаритами 260×180×60 мм. Светоголовка имеет размеры 60×50×40 мм. Контроллер соединяется с ней при помощи разъема и кабеля (рис. 1б, в).

Порядок работы с эталонным источником света очень прост. Оператор включает питание, после чего температурный контроллер включается в работу и через несколько секунд на нем начинает отображаться текущая температура платы. Одновременно включается светодиод. По истечении нескольких минут температура платы приближается к запрограммированному значению, например +40 °С, и стабилизируется вокруг него с точностью около 0,1 °С. Время стабилизации несколько зависит от темпера-



Рис. 2. Контроллер источника с подключенной светоголовкой красного цвета свечения

туры в лаборатории, но не превышает пяти минут. После этого эталонный источник готов к работе.

Один и тот же контроллер может быть использован со светоголовками различных цветов. Все светоголовки построены одинаковым образом и отличаются только типом примененного в них светодиода. Всего имеется восемь различных цветов: синий, зеленый, желтый, оранжевый, красный (рис. 2) и три варианта белого — холодный, нейтральный и тепло-белый. При необходимости могут быть изготовлены светоголовки для ближней УФ- ($\lambda_{\max} = 305$ нм) и ближней ИК-области ($\lambda_{\max} = 800-940$ нм), однако в такие источники имеют лишь специальное назначение и поэтому производятся по заказу. Все платы со светодиодами проходят принудительную наработку в течение примерно 1500–2000 ч при номинальном рабочем токе с целью максимальной стабилизации рабочей точки светодиодов в процессе дальнейшей наработки.

Характер временной деградации светодиодов XR-E позволяет надеяться на стабильную работу эталонного источника в течение нескольких лет даже при интенсивной эксплуатации по несколько часов в день. Калибровка эталонных источников света может быть произведена во ВНИИОФИ или в любой лаборатории, располагающей для этого подходящим оборудованием и правами. Калибровка производится при выбранной температуре в диапазоне +30...+40 °С. Каждая светоголовка имеет уникальный номер и паспорт с характеристиками, которыми можно воспользоваться при калибровке измерительных систем одновременно по нескольким параметрам (табл. 2).

Таблица 2. Основные параметры

Основные декларируемые параметры	Точность передачи единицы
Световой поток	Менее 3%
Сила света (осевая, максимальная)	
Пространственное распределение силы света (силы излучения)	
Мощность излучения	2–4%
Сила излучения	
Координаты цветности	До 0,0005
Все виды длин волн (доминирующая, максимальная, центроидная)	0,5 нм
Коррелированная цветовая температура (для белых)	100K
Индекс цветопередачи (для белых)	1

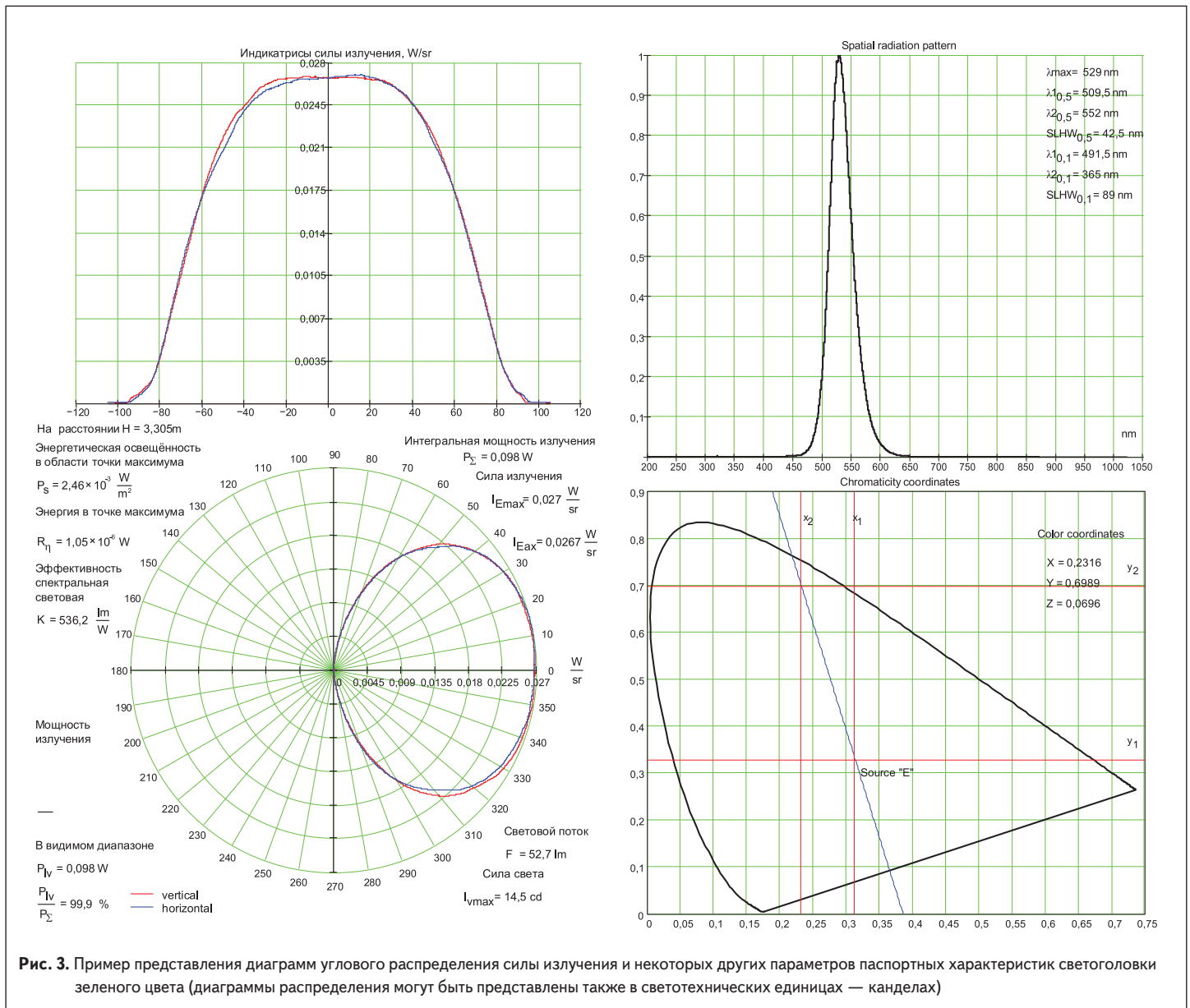
Таблица 3. Калибровочные параметры различных светоголовок

Тип светоголовки	Натуральный белый	Красный	Зеленый	
Режим, °С	33	33	33С	
Мощность излучения, Вт	0,22	0,154	0,098	
Световой поток, лм	64,1	31,4	52,7	
Сила света максимальная, кд	19,23	8,55	14,5	
Сила света осевая, кд	19,2	8,5	14,3	
Освещенность по оси на расстоянии 2,5 м, лк	3,1	1,36	2,29	
Сила излучения максимальная, Вт/ср	0,065	0,042	0,027	
Угол излучения 2Q0,5lv, град.	0-0	122,2	132,8	
	0-90	121,63	132,24	
	средний 2Q0,5lv	121,92	133,35	
Угол излучения 2Q0,1lv, град.	0-0	178,13	178,29	
	0-90	177,83	176	
	средний 2Q0,1lv	177,98	177,15	
Световой поток по уровню 0,5lv, %	73,5	80,1	84,6	
Световой поток по уровню 0,1lv, %	99	99	98,4	
Относительная сила света, кд/кдм	300,2	272,1	275	
Спектральная световая эффективность, лм/Вт	296,7	204,4	536,2	
Энергетическая освещенность по оси на расстоянии 2 м, Вт/м ²	0,016	0,011	0,007	
Длина волны максимальная, нм	451,5	631	529	
Длина волны центроидная, нм	576,5	632,5	546,5	
Доминирующая длина волны, нм	—	621,8	537,6	
Ширина спектра излучения по уровню 0,5P, нм	180	14	42,5	
Ширина спектра излучения по уровню 0,1P, нм	281	37	89	
Координаты цветности	X	0,345	0,694	0,232
	Y	0,336	0,305	0,001
	Z	0,320	0,280	0,070
Доля ОСПЭЯ отн. V(λ), %	50,9	5,3	36,2	
Индекс цветопередачи Ra (CRI)	85	—	—	
Коррелированная цветовая температура (CCT), К	4930	—	—	

Примеры комплекса параметров (около 30), входящих в паспортные калибровочные данные светоголовок для возможности калибровки фотометрического оборудования и передачи единиц с помощью различных светоголовок и контроллера, предоставляемых лабораторией «АРХИЛАЙТ», приведены в таблице 3.

Помимо приведенных параметров, светоголовки характеризуются диаграммами углового распределения силы света (силы излучения), таблицами или графиками спектрального распределения мощности излучения.

Совместно со значениями параметров, приведенных в таблице 3, эти данные могут быть использованы для калибровки гониофотометров как по энергетическим (светотехническим) единицам, так и по угловым, а также для расчетов коэффициентов преобразования фотометров при измерении светодиодов с аналогичными спектральными характеристиками. Пример представления указанных диаграмм приведен на рис. 3. Таким образом, в отличие от эталонных ламп СИП или СИС, передающих лишь одну какую-либо фотометрическую единицу, пред-



лагаемый источник на основе светодиодов может использоваться для калибровки метрологических систем по всем приведенным в таблице 3 (около 30 наименований) параметрам одновременно, не требуя приобретения их владельцем целого набора дорогостоящих устройств для отдельной калибровки спектральных, угловых, энергетических, фотометрических и других характеристик.

Поскольку работа по эталонным источникам выполнена относительно недавно,

мы пока не располагаем достаточным статистическим материалом, позволяющим судить о реальной долгосрочной стабильности и воспроизводимости предлагаемых источников света. Однако данные по светодиодам Cree, с одной стороны, и реальные технические возможности по стабилизации рабочего режима светодиодов, с другой, позволяют надеяться, что межповерочная стабильность предлагаемых эталонных источников света будет не хуже 0,5%.

Эталонные источники света любого из предлагаемых цветов могут быть изготовлены по заказу в течение одного месяца. Со всеми возникшими вопросами можно обращаться к авторам статьи. ●

Литература

1. www.oceanoptics.com
2. www.stellarnet-inc.com
3. www.cree.com