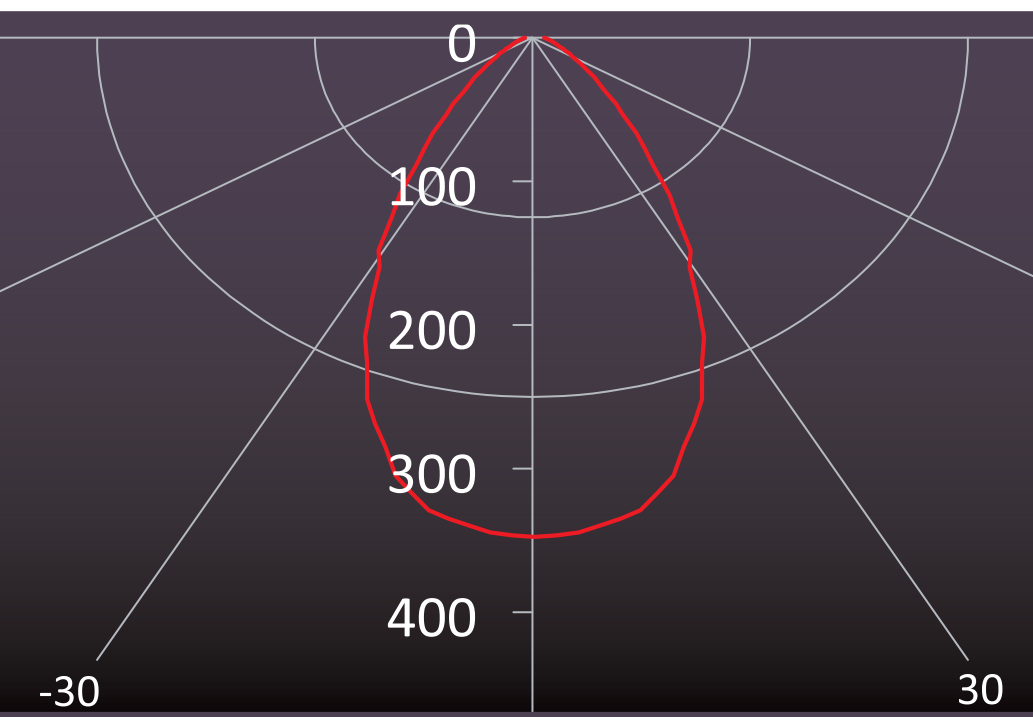


Практическая оценка ожидаемых затрат времени при измерениях гониоспектрометрами и гониофотометрами

➔ При определении зависящих от угла характеристик светодиодных модулей и источников света часто возникает вопрос касательно оценки ожидаемых затрат времени на проведение таких измерений. В частности, значительный интерес представляет сравнение по производительности измерений с использованием гониометрических систем на базе спектрометра с системами на основе фотометра. Рассматриваются различные варианты сочетания средств измерений для проведения исследований в области светотехники. Даются рекомендации по их применению с точки зрения оптимизации общих затрат времени для практических случаев проведения испытаний и проверки характеристик твердотельных источников света.



В предлагаемом исследовании были задействованы и изучены два типовых твердотельных источника света, которые принято обозначать аббревиатурой SSL, с различными характеристиками пространственного излучения и различными уровнями общего светового потока. Для зависящих от угла спектрометрических и фотометрических измерений образцов применялся гониометр — устройство для проведения угловых измерений. Он использовался в двух вариантах — для вращения источника света и в качестве основы для детектора поворотного типа. В этом исследовании сделан особый акцент на оценку затрат времени на измерения для различных конфигураций оборудования и обосновываются результаты в соответствии с качественными характеристиками таких измерений. Полученные в ходе испытаний результаты используются, чтобы дать ряд практических рекомендаций для правильного выбора оборудования в повседневной лабораторной практике и задания начальных настроек измерения по отношению к детектору, величине углового разрешения, размерам образца и соблюдению требований соответствующих стандартов.

Вступление

При выполнении измерений с заданным угловым разрешением продукции на основе твердотельных источников света наиболее типичным является вопрос, какое время необходимо будет на это затратить. Интерес заключается, в частности, в том, что надо учитывать различные временные масштабы при выборе между системами на базе спектрометра и системами на основе фотометра. Как правило, гониоспектрометрические (goniospectroradiometric) системы работают медленнее, но они позволяют получить все важные характеристики источника света, такие как кривые распределения интенсивности света, параметры светового потока, координаты цвета и даже индекс цветопередачи. Причем эти измерения отличаются максимально высокой точностью. В гониофотометрических (goniophotometric) системах в качестве детектора используются более быстрые устройства — фотометры, которые применяются, как правило, чтобы сократить время измерения. То есть гониофотометры — это более быстрые средства измерения по сравнению с гониоспек-

Оборудование, использованное для проведения сравнительных экспериментов

Все измерения выполнялись при помощи LGS 1000 — крупнейшего из доступных гониометров компании Instrument Systems. Этот гониометр основан на системе С-γ координат (по CIE 121-1996) и позволяет исследовать образцы диаметром до 2 м и весом до 50 кг. Он может работать с фотометром как обычный гониофотометр, или совместно со спектрометром — как универсальный гониоспектрометр. Для измерения использовались матричный спектрометр (включающий в себя прибор CAS 140CT с оптическим датчиком) и фотометр. Испытуемое устройство устанавливалось и стабилизировалось в соответствии с процедурами, описанными в стандартах IES LM-79-08 и EN13032-4. Чтобы устранить нежелательное рассеяние света, все измерения проводились в абсолютно темной комнате с матово-черными стенами, полом и потолком.

Для измерений использовались две различные конфигурации гониометра, которые будут описаны в предлагаемом исследовании подробно.

тронетрами, но их диапазон измерений ограничивается одними фотометрическими характеристиками.

В большинстве случаев именно конкретное приложение определяет необходимость того или иного типа детектора. Тем не менее именно экономия времени при проведении измерений в повседневной лабораторной практике важна для большинства пользователей. Например, фотометр, как дополнение к системе гониоспектрометрии, как раз и имеет тот потенциал, который позволяет значительно сократить общее время измерения. Именно оценка ожидаемого времени измерения и есть та ценная информация, которая помогает принять правильное решение в этом вопросе.

Временные затраты на измерения зависят от множества факторов, таких, например, как пространственные характеристики излучения (причем измеренные именно с заданным угловым разрешением), число пространственных С-плоскостей для измерения, требования применяемых стандартов, тип гониометра и размеры образца. В данном исследовании для оценки твердотельных источников света использовались два образца. Они отличаются по своим пространственным характеристикам излучения и измерялись при помощи различных детекторов в разных пространственных геометриях. С помощью полученных данных можно оценить характерное время для каждого варианта измерения, связанные с этим ошибки и выработать ряд основных правил, которые будут полезны для пользователя, когда дело доходит до вопросов, касающихся общих затрат времени на проведение измерений в области светотехники.

Настройки поворотной системы с источником света

В стандартной конфигурации эта система представляет собой так называемый поворотный гониометр в соответствии с системой С-γ координат с горизонтальной оптической осью. Во время измерения светильник вращается в горизонтальной С-оси и вертикальной γ-оси. Оптический датчик (в случае использования спектрометра) или, альтернативно, фотометрическая головка устанавливаются на штативе и совмещаются с горизонтальной оптической осью образца. Чтобы минимизировать рассеянный свет, на переднюю часть детектора надет тубус (специальная зачерненная труба, предотвращающая попадание на детектор рассеянного света). Сам детектор размещен на штативе и установлен на таком рас-

стоянии от образца, на котором образец можно уже приближенно рассматривать как некий точечный источник света (на так называемом фотометрическом расстоянии). Это необходимо, чтобы поддерживать условия дальнего поля для измерения интенсивности светового потока. На рис. 1 показана установка гониометра с поворотной конфигурацией светильника.

Гониометр обеспечивает возможность регулировки угловой скорости по обеим осям. Для более быстрой С-оси скорость может быть выбрана из предложенных шестнадцати фиксированных вариантов: от скорости в $3,1^\circ/\text{с}$ до максимальной скорости в $50^\circ/\text{с}$. Скорость по γ-оси может быть выбрана в пределах от $1,8$ до $30^\circ/\text{с}$ соответственно. Кроме того, гониометр может работать в двух различных режимах



Рис. 1. Гониометр в стандартной конфигурации (слева) и детектором с тубусом на штативе (справа)

измерения: старт/стоп и непрерывном режиме углового перемещения.

Последовательное измерение в режиме старт/стоп означает, что для каждой пары углов измерения будут проведены при подходе гониометра к выбранной точке с заданной по соответствующей оси скоростью. Только после того как гониометр подойдет точно к заданной точке остановки, то есть установленный угол будет достигнут, будет запущен процесс измерения. Эта процедура осуществляется со всеми парами углов соответственно установкам, сделанным оператором. В связи с наличием фаз ускорения и торможения с соответствующими им затратами времени этот режим является медленным и обычно используется для спектрометрических измерений, для которых требуется более длительное время интегрирования.

С другой стороны, для непрерывной последовательности измерений используется фотометр. В этом режиме гониометр имеет только одну фазу ускорения и одну торможения и перемещается с непрерывной скоростью через определенную угловую область. Проходя углы, на которых должны быть проведены измерения, система запускает измерение «на лету» без остановки гониометра. Это означает, что когда распределение света измеряется с помощью фотометра, гониометр движется непрерывно, а цифровая обработка сигнала в измерительном усилителе обеспечивает оптимальную регулировку времени интегрирования и разделяет, отфильтровывает параметры по заданным углам во время записи

результатов измерения. Общее время измерения в таком режиме значительно снижается по сравнению с режимом старт/стоп, но в результате вы имеете только чисто фотометрические характеристики образца источника света.

Поворотный детектор

С помощью дополнительной опции гониометр превращается в детектор поворотного типа с вертикальной оптической осью (рис. 2). В таком режиме измерения положение образца в пространстве остается неизменным во время всего процесса измерения, а детектор движется вокруг образца по виртуальной сферической поверхности. В качестве детектора может быть использован спектрометр или фотометр. С этой опцией размер образца, который может быть использован для измерений требующих фотометрических дистанций, будет меньше по сравнению с размерами для стандартной конфигурации. Для измерений, полностью совместимых с требованиями стандарта IES LM-79-08, диаметр уменьшается до (максимум) 18 см. Однако для измерений светового потока это ограничение не распространяется.

При такой трансформации гониометра значения скоростей по его осям также переключаются. Так, скорость по γ -оси, которая чаще всего используется в обычных для настоящего времени измерениях твердотельных источников света, может достигать максимума в 50°/с, а скорость по Σ -оси может достигать максимума в 30°/с. Таким образом, при этом подходе может быть достигнуто сокращение общего времени измерения.

Твердотельные источники света

Чтобы проиллюстрировать зависимость общего времени измерения по определению пространственных характеристик излучения испытуемого образца, в этой работе для получения результатов были задействованы и исследованы два различных источника света.

Один светодиодный светильник имеет довольно широкое угловое распределение на уровне полумаксима примерно 80° (Full Width at Half Maximum, FWHM). Относительная кривая распределения интенсивности света этого источника света показана синей линией на рис. 3а. Общий световой поток светильника составляет около 670 лм с коррелированной цветовой температурой 3500 К и высоким коэффициентом цветопередачи CRI > 95.

Второй источник, со световым потоком примерно в 403 лм, имеет более низкий общий световой поток и иные пространственные характеристики излучения. С распределением на уровне полумаксима приблизительно в 29°, этот источник света является более узконаправленным. Для сравнения относительная кривая распределения интенсивности света этого источника света показана красной линией на рис. 3. Его декартовое представление на Σ -плоскости (рис. 3б) показывает абсолютную разницу в интенсивности светового потока двух источников света. Хотя общий световой поток более направленного источника света значительно меньше по сравнению со светильником с более широким угловым распределением, он имеет более высокую пиковую силу света, которая превышает интенсивность первого светильника более чем втрое. Как можно видеть, общий световой поток, связанный с синей кривой, выше, чем у красной кривой, но пик ее силы света ниже. Следовательно, градиент силы света с таким углом будет намного выше.

Практическая оценка ожидаемых затрат времени при измерениях гониоспектрометрами и гониофотометрами

Изучение общего времени измерений осуществляется для двух источников света, описанных в предыдущем разделе, в сравнении с различными детекторами и настройками. Для этого применена стандартная поворотная конфигурация светильника с использованием в качестве детектора спектрометра

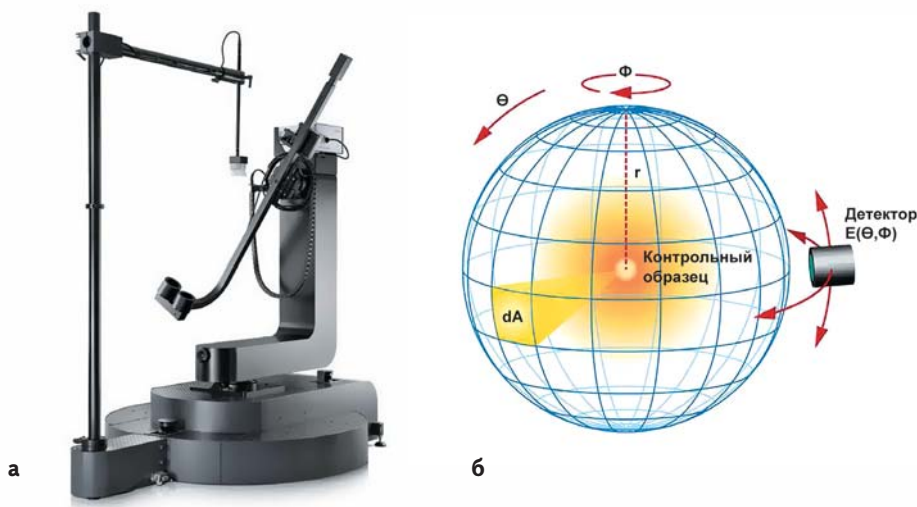


Рис. 2. а) Гониометр в виде детектора поворотного типа; б) принцип его работы

и фотометра. Для того чтобы сохранить фотометрическое расстояние, дистанция между источником света и детектором установлена равной 3,2 м.

Измерения при помощи спектрометра

Для измерений с использованием спектрометра были применены два различных метода определения времени интегрирования. Динамический диапазон силы света источников света в интервале углов приводит к необходимости настройки времени интегрирования спектрометра. Каждое изменение времени интеграции требует достаточно много времени, так как при этом необходимо проводить измерение темнового тока. Отсюда следует, что изменения времени интегрирования должны быть лимитированы. С другой стороны, для проведения высококачественных измерений при помощи спектрометра нужен хороший уровень сигнала. Таким образом, должен быть найден некий приемлемый компромисс, который ограничивает возможности внесения изменений во время интегрирования до минимума, сохраняя при этом необходимые качественные характеристики измерения в целом. Этот компромисс, однако, может быть найден только тогда, когда пространственные характеристики излучения известны еще до начала измерения. Такие опорные характеристики могут быть получены ранее

при тестировании партии образцов того же вида. Только в этом случае может быть реализована оптимизация времени измерения при использовании спектрометра. В этом разделе мы анализируем худший случай, предполагая, что пространственные характеристики испытуемого источника света нам заранее неизвестны. Чтобы оптимизировать получение результатов, используются два различных подхода:

- Время интегрирования спектрометра устанавливается на самом высоком уровне сигнала вблизи точки насыщения на пике силы света (предполагается, что этот пик находится в центре источника света). Это время интегрирования является фиксированным и используется для всех углов измерения.
- Для динамической регулировки времени интегрирования используется опция автонастройки спектрометра. Уровни сигналов между 50% и 100% настраиваются автоматически. Чтобы избежать ненужных длинных временных итераций, максимальное значение времени интегрирования устанавливается равным 3 с.

С помощью этих двух подходов оценивалась одна С-плоскость в нижней полуплоскости (от -90 до 90°) с различными шагами. Измерения проводились с использованием режима старт/стоп гониометра. При этом фиксировалось общее время, затраченное на проведение измерения. На рис. 4 и 5

показаны результаты измерения для двух источников света с широким и узким угловым распределением. Синяя и зеленая линии, соответственно, представляют собой результаты измерения при использовании спектрометра с фиксированным временем интегрирования спектрометра в режиме автонастройки. Как и ожидалось, в режиме автонастройки требуется больше затрат времени, необходимого на завершение всего цикла измерения при помощи спектрометра. Но, в общем, полученные кривые, как видно на приведенных рисунках, весьма схожи. Для измерений с шагом, большим, чем в диапазоне примерно $2-3^\circ$, при увеличении приращения (это эквивалентно уменьшению разрешения) кривая превращается в график с довольно плавными склонами. Общие затраты времени на такое измерение в несколько минут типичны для этого режима. Для небольших приращений затраты времени на измерение резко возрастают. При работе в таком режиме следует ожидать затраты времени на измерения от десятков минут до получаса. Эти данные представляют лишь одну С-плоскость. Измеренное время должно быть умножено на количество С-плоскостей, необходимых для фактического измерения. Если необходимо угловое разрешение $\leq 0,5^\circ$, то общее время измерения может возрасти до нескольких часов при типичном количестве С-плоскостей от четырех до пяти.

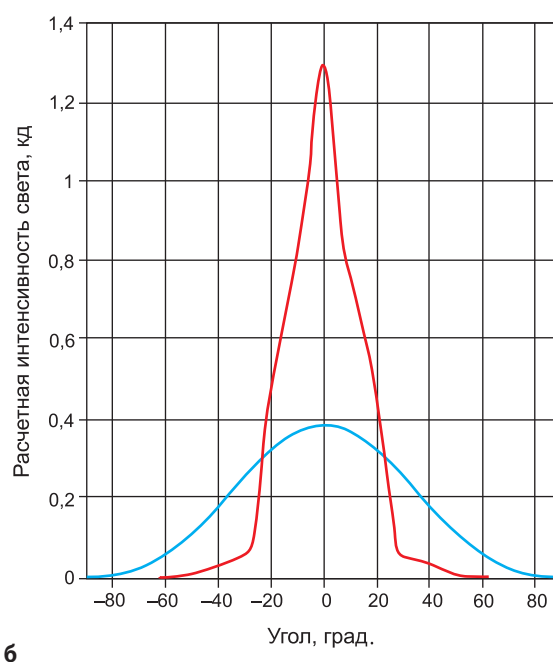


Рис. 3. а) Кривые распределения относительной интенсивности света (левая сторона) двух твердотельных источников света, использованных в данном исследовании; б) абсолютное распределение силы света светильников в С-плоскости декартовой системы координат.

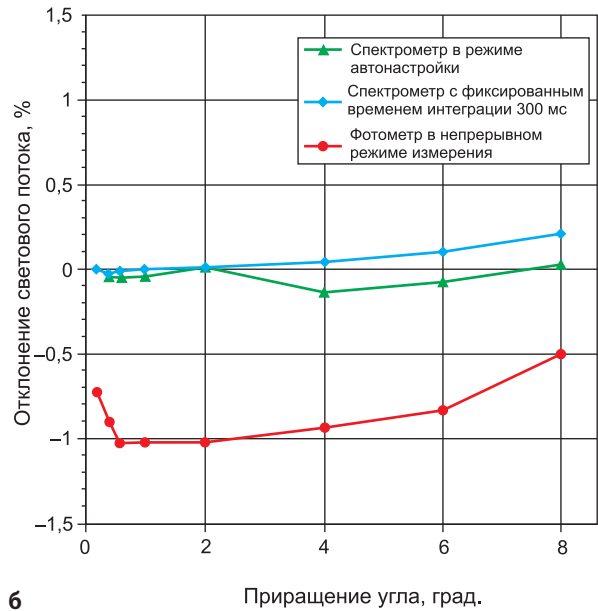
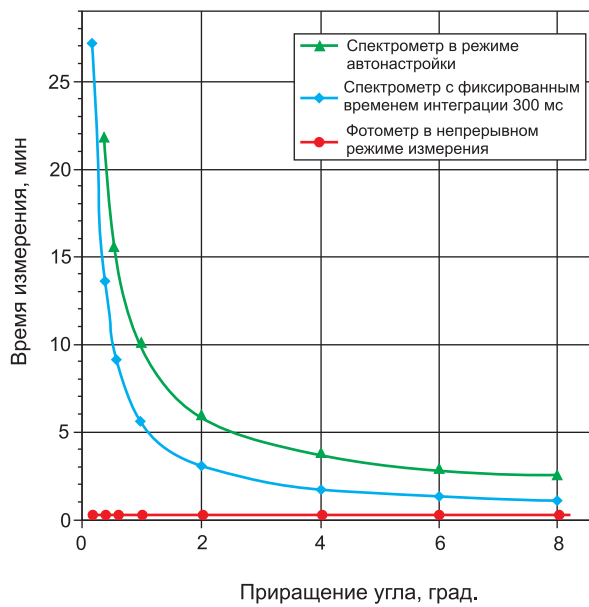


Рис. 4. Для образца, имеющего широкое угловое распределение силы светового потока: а) общее время измерения по сравнению с приращениями угла для различных режимов измерений; б) соответствующие отклонения светового потока

На рис. 4а и 5а представлены рассчитанные на основании проведенных измерений погрешности в виде отклонения от уровня общего светового потока. Ориентиром служили измерения спектрометром, выполненные при приращении угла в 0,2°. Как видим, по причине довольно широкого углового распределения интенсивности светового потока первого источника света какие-либо значительные отклонения не могут быть обнаружены до шага 8°. На рис. 4 все отклонения измеренных

значений светового потока остаются в пределах $\pm 0,2\%$. Гораздо более направленный характер распределения второго светильника показывает иное поведение, результаты анализа его отклонений приведены на рис. 5. До разрешения в 2° общая картина похожа на ситуацию, показанную на рис. 4, и отклонение достигает максимум 0,2%. При больших значениях приращения отклонение растет и может оказаться явно выше 1%. Это будет способствовать внесению в итоги измерения неоднозначности

для пользователя. На практике адаптация выбранного шага измерения пространственной характеристики источника может уменьшить как само время измерения, так и связанный с ним компонент в условиях неопределенности измерений.

Измерения при помощи фотометра

Все описанные выше измерения для сравнения были также повторены и выполнены с помощью фотометра, использованного

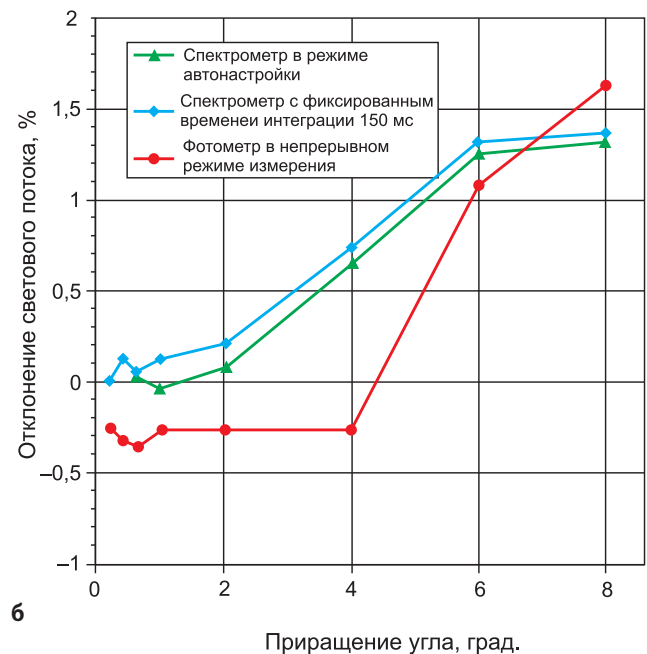
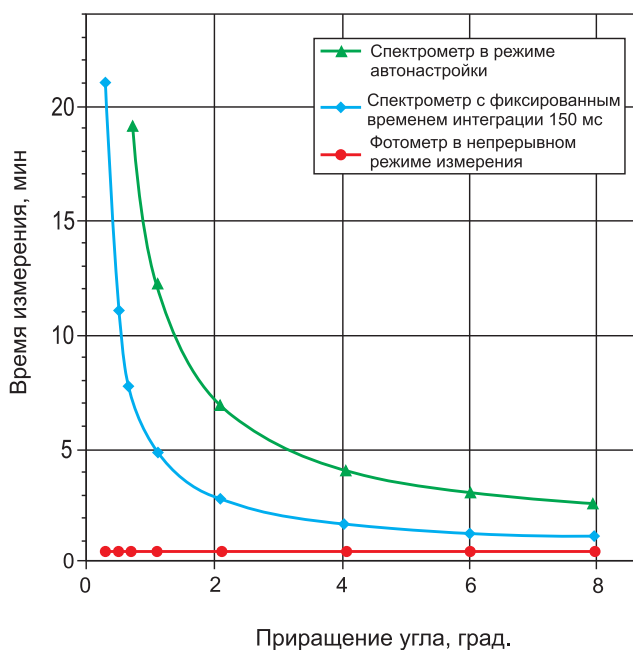


Рис. 5. Для образца, имеющего более узкое угловое распределение силы светового потока: а) общее время измерения по сравнению с приращениями угла для различных режимов измерений; б) соответствующие отклонения светового потока

в качестве детектора. Таким образом, здесь был использован непрерывный режим гониометра, который позволяет производить запись пространственных характеристик светового излучения непрерывно, «на лету». Результаты по времени измерения, полученные в этом режиме, представлены на рис. 4 и 5 красной линией.

В отличие от измерений при помощи спектрометра результаты, полученные от фотометра, не показывают такую явную зависимость времени измерения от выбранного углового приращения. На самом деле все значения лежат на постоянной линии в 13 с. Это время измерения одинаково для обоих источников света и для всех градаций приращения, что связано с адаптивной настройкой системы цифровой обработки сигнала в блоке электроники фотометров, которая обеспечивает хороший уровень сигнала на всех приращениях. Как видно на рисунках справа (рис. 4 и 5), поведение качественных характеристик фотометра такое же, как и при использовании спектрометра. Речь идет о данных для отклонения светового потока. Поскольку измерение при помощи фотометра достаточно быстрое даже для случаев с высоким разрешением, то, как правило, оно в режиме измерения от четырех до пяти С-плоскостей длится всего около 1 мин.

Выводы и практические рекомендации

Представим некоторые практические соображения, вытекающие из результатов, описанных в двух последних разделах предлагаемого исследования.

Если интерес представляют исключительно фотометрические величины, такие как распределение интенсивности света или светового потока, то рекомендуется использовать фотометр вместе с гониометром, работающим в непрерывном режиме, как мы его назвали, «на лету». С помощью установки такого типа измерения могут быть выполнены быстро и с высокой разрешающей способностью. Фотометр всегда следует использовать с малыми приращениями угла, такими как 0,5 или даже 0,2°. Время измерения не зависит от выбора разрешения, а ошибки пространственных характеристик излучения источника света при таких установках будут сведены к минимуму. Одна точка С-плоскости с разрешением в 0,2° обычно будет измерена за 13 с при максимальной угловой скорости. Для большего числа

С-плоскостей время измерения можно оценить простым умножением.

Измерения с использованием спектрометра весьма важны для анализа угловых колебаний соответствующей цветовой температуры, индекса цветопередачи или цветовых координат. Если требуется именно этот тип измерения, то следует соблюдать разумную осторожность, чтобы не установить слишком большое угловое разрешение гониометра, то есть задать прирост по углу чересчур малым. Чтобы минимизировать время измерения, спектрометр должен оставаться в таком режиме, который не приведет к резкому росту времени измерения. Для типичных твердотельных источников света это приращение должно оставаться на уровне 2–5°. Для шагов более, чем 2°, характерное время измерения занимает порядка нескольких минут, и этого разрешения обычно вполне достаточно, чтобы получить результаты высокого качества. Кроме того, это рекомендуемое разрешение при сканировании, как правило, превышает установленное в соответствующих стандартах. Так, например, для типовых источников света с широким угловым распределением и равномерным распределением интенсивности света стандарт IES LM-79-08 рекомендует приращение в 5° при 16 С-плоскостях (22,5°) измерения. Находящиеся на стадии разработки европейские и международные стандарты на методы испытаний светодиодных ламп и светильников (EN13032-4 и CIE S025, они идентичны) пока еще даже воздерживаются от формулирования и рекомендаций каких-либо количественных требований в части разрешения по углам сканирования. В самом деле, для общего светового потока и световой интенсивности распределения стандарты могут только рекомендовать некий угловой интервал, который должен быть определен по характеру распределения относительно оси симметрии или несимметричности. Только для части светового потока в конусе 90° или больше стандарты устанавливают тот же минимальный γ -угол в 5°, как и в стандарте IES LM-79-08. Поэтому, как правило, минимальное приращение от 2° до 5° является вполне достаточным и будет приемлемой отправной точкой для большинства измерений.

Использование такой опции спектрометра, как автонастройка, не всегда будет оптимальным выбором и не обязательно приведет к лучшему результату. При неизвестных пространственных характеристиках излучения рекомендуется устанавливать

фиксированное время интеграции спектрометра, установленного по уровню сигнала вблизи точки насыщения на пике интенсивности светового потока. Для типичного твердотельного источника света измерение по одной С-плоскости с шагом, равным или выше, чем на 2°, длится 1–3 мин. Как и в случае непрерывных измерений с использованием фотометра, простое умножение позволяет оценить общее время измерения для большего числа С-плоскостей.

Если перед началом измерения при помощи спектрометра пространственные характеристики излучения известны, по крайней мере, хотя бы до некоторой степени, то может быть выполнена следующая оптимизация процесса измерений. Она может быть использована в том случае, когда заранее и с высоким разрешением было уже выполнено измерение некоторого объема изделий той же модели. Выбранное приращение может быть адаптировано к пространственной характеристике конкретного углового диапазона. Характеристика направленности светильника, например, дает возможность выбрать более низкое разрешение для $|y| > 40^\circ$ без значительного влияния на общую погрешность измерения.

Оптимизация в режиме непрерывного измерения

В последнем параграфе, в котором описывалось использование гониометра вместе с фотометром в качестве детектора в непрерывном режиме измерения, последний был рекомендован только для чисто фотометрических измерений. Когда речь идет о довольно-таки быстрых измерениях, то следует иметь в виду, что движение воздуха вокруг испытуемого образца источника света может изменить его текущую эффективную рабочую температуру. Как следствие, могут меняться его фотометрические величины. Таким образом, скорость движения оси гониометра должна быть адаптирована к размерам используемого образца и ограничена в разумных пределах.

Рекомендации по данной проблеме действующими стандартами строго не установлены. Так, стандарт IES LM-79-08, например, лишь утверждает, что поток воздуха вокруг твердотельного источника света должен быть таким, чтобы он соответствовал условиям нормальной конвекции воздуха, которая не будет оказывать влияние на результаты его обмера. Стандарты EN13032-4 и CIE S025 являются более точными в этом отношении. В них интервал допуска для скорости

движения воздуха установлен 0–0,25 м/с. Это означает, что для того, чтобы избежать коррекции результатов в стандартных условиях испытания и, следовательно, иметь дополнительный компонент в конечной общей неопределенности результатов измерений, пользователь должен выбрать такую скорость оси гониометра, чтобы была установлена общая заявленная скорость смены интервалов допуска. С этой целью, как описано выше, гониометр может выполнять непрерывное измерение с различными установленными пользователем скоростями.

Когда для измерений используется установка с вращающимся светильником, то его скорость перемещения, которая будет удовлетворять условию по допускам, зависит от размера образца, установленного на поворотной установке. Для образцов с радиусом меньше, чем 28 см, может быть использована максимальная скорость (50°/с) гониометра. Максимальная скорость может быть использована и в случае размера образца с радиусом до 47 см, но только если измерение осуществляется в одной С-плоскости. Это допустимо из-за различных скоростей по осям. Максимальная скорость по γ -оси меньше, чем максимальная скорость по С-оси. В общем случае в целях удовлетворения требований стандартов по допустимому интервалу погрешностей для максимального размера образца должна быть использована максимальная скорость гониометра в 14°/с.

На рис. 6 показан график изменения общего времени измерения для всех С-плоскостей, построенный при непрерывном измерении с помощью фотометра. Для каждой конфигурации существует явная линейная зависимость с характерным наклоном для различных скоростей. Красная линия представляет собой измерение в стандартной конфигурации с поворотным светильником на максимальной скорости 15,6°/с, что соответствует почти полному возможному размеру испытываемого образца. Чтобы получить общее время измерения, как правило, количество измерений на С-плоскости необходимо умножить на 22 с. Это дает примерно 6 мин. для измерения на шестнадцати С-плоскостях, которые полностью соответствуют рекомендациям, содержащимся в стандарте IES LM-79-08.

Синяя линия представляет собой непрерывное измерение с максимальной скоростью в конфигурации с поворотным светильником. Время измерения на одну С-плоскость — 9,5 с. Измерения, указанные выше, могут быть выполнены в пределах 2,5 мин. Зеленой линией обозначены результаты непрерывного измерения с помощью гониометра с опцией поворотного детектора. В этом случае нет никаких ограничений по размеру образца, как и в отношении используемых по осям скоростей. В таком режиме может быть использована максимально возможная скорость на всех осях гониометра. Кроме

того, эта опция включает горизонтальную и вертикальную оси. Чаще используется γ -ось как позволяющая задать большую скорость. Это приводит к более точным результатам в части времени измерения, чем нам показывает результат на синей линии. В этом случае, чтобы оценить общее время измерения в секундах, количество измеренных С-плоскостей необходимо умножить на семь. Чтобы были выполнены измерения 16 С-плоскостей в соответствии с руководящими принципами, указанными в стандарте LM-79, нужно всего 113 с. Для измерений светового потока, где требования по фотометрическому расстоянию не являются критическими, этот метод является самым быстрым и не ставит никаких ограничений на размер образца. Однако для измерений распределений по интенсивности светового потока размер образца должен быть ограничен. Это необходимо, чтобы удовлетворить требованиям по фотометрическому расстоянию. Следуя указаниям стандарта LM-79-08, для твердотельных источников света с широким угловым распределением размер образца должен быть ограничен примерно на уровне 18 см в диаметре.

Заключение

В повседневной лабораторной практике весьма важна экономия времени измерения при гониоспектрометрии и гониофотометрии. В соответствии с явной и четкой тенденцией к высокому качеству света в приложениях твердотельного освещения, пользователи гониофотометра должны выбрать такую процедуру измерения, которая обеспечивает подходящий баланс двух ключевых понятий — «время» и «качество».

Важную роль в этом отношении играет выбор решения по типу детектора — спектрального (спектрометр) или интегрального (фотометр). Кроме того, время измерения и достигаемое качество измерения зависят от ряда факторов, таких как пространственные характеристики излучения источника света, выбранного разрешения сканирования и типа используемого гониометра. Оценка времени измерения для двух демонстрационных образцов твердотельных источников света и проверка полученных результатов в отношении их качества дает некоторые практические рекомендации для успешного преодоления диспропорции между скоростью проведения измерений и их качественным результатом. ●

Оригинал статьи опубликован на сайте www.led-professional.com

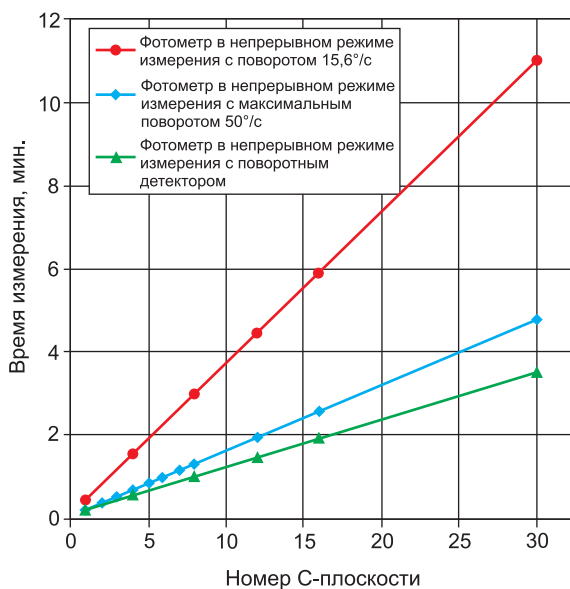


Рис. 6. Общее время измерения по отношению к измеренным С-плоскостям для различных геометрий и скоростей в режиме непрерывного измерения (синяя и красная линии — результаты, полученные в режиме непрерывного измерения, в конфигурации системы с поворотным светильником с максимальной и уменьшенной (15,6°/с) скоростями; зеленая — непрерывное измерение с опцией вращения детектора на максимальной скорости)