

# Стратегия МКО в области метрологических исследований передовых фотометрических и радиометрических приборов

➔ Фотометрические приборы — это устройства, измеряющие оптическое излучение и обладающие определенной спектральной чувствительностью. Чаще всего измерители освещенности и яркости используются для измерения распределения освещенности и яркости на освещаемых объектах. Это относительно простые устройства, чьи характеристики определяются входной оптикой в соответствии с поставленной задачей и фильтром, обеспечивающим соответствие кривой чувствительности прибора спектральной световой эффективности человеческого глаза (обычно  $V(\lambda)$  для фотопического зрения). В испытательных лабораториях интегрирующие сферы используются для измерения общего светового потока источника света, а гониофотометры применяются для измерения распределения силы света, полного светового потока и частного светового потока. Эти устройства хорошо известны, и несколько технических отчетов МКО содержат рекомендации по использованию метрологических характеристик и калибровке [1–4].

Благодаря техническому прогрессу на рынке появились новые типы фотометрических и радиометрических измерительных приборов, предназначенных для эксплуатации во многих областях. Кроме того, в настоящее время в ответ на новые публикации МКО и появление на рынке новых технологий освещения разрабатываются новые виды приборов.

## Примеры приборов новых типов

### Приборы для яркостной изображающей фотометрии

Аналогично использованию цифровой камеры для фотосъемки изображающие яркомеры (Imaging luminance Measurement Devices — ILMD) объединяют в своем составе матричный детектор (как правило, ПЗС- или КМОП-матрицу) и специально разработанный фильтр, корректирующий спектральную чувствительность прибора, благодаря этому измерение происходит за один шаг. Такие яркомеры применяются для оценки сложных объектов за короткое время и с высоким разрешением, что недостижимо при употреблении традиционных яркомеров, измеряющих яркость в заданной круговой апертуре. По этой причине ILMD становятся очень популярными при решении различных задач, например при оценке распределения яркости в помещениях, оценке уличного и туннельного освещения и измерениях параметров источников света.

### Гиперспектральные устройства

Эти устройства позволяют одновременно выполнять измерение спектральных и пространственных распределений, то есть каждый пиксель изображения содержит спектральную информацию. Такие устройства пригодны для идентификации материалов (например, в минералогии), для контроля этапов развития растительности, выявления аномалий кожи и даже в системах безопасности.

### Гониофотометры ближнего поля с изображающими яркомерами

Объединение ILMD с гониофотометром позволяет измерять пространственное и угловое распределение яркости источников света в ближнем поле. Собранные данные можно использовать для совершенствования характеристик светильников с помощью численного моделирования (трассировки лучей), а пользователи могут оценивать распределение яркости в виртуальных плоскостях на любом расстоянии от источника. Кроме того, данные дальнего поля (то есть распределения силы света) теперь можно получать с помощью довольно компактных измерительных устройств.

Измерительные приборы для количественного исследования фотохимических и фотобиологических эффектов

Хорошо известно, что светочувствительные ганглионарные клетки сетчатки человека (intrinsically photosensitive retinal ganglion cells — ipRGC) оказывают влияние на различные невизуальные эффекты, включая синхронизацию суточных ритмов, управление зрачком и сознательное зрительное восприятие. Недавно объединенный технический комитет МКО JTC 9 определил метрики, в частности несколько спектров биологической эффективности (воздействия), необходимых для количественной оценки таких эффектов. Вскоре появятся новые измерительные приборы, которые будут выполнять измерения в соответствии с новыми метриками и спектральными кривыми. Для этих приборов необходимо определить метрологические характеристики и методы калибровки.

Высокоскоростные измерительные системы для количественной оценки быстроменяющихся (импульсных, модулированных, пульсирующих) оптических сигналов

Известно, что модуляции света во времени (temporal light modulations — TLM) влияют на визуальное восприятие и самочувствие человека. Техническая записка МКО TN 006 [5], размещенная в свободном доступе, дает новые определения для эффектов восприятия, которые возникают вследствие модуляции света. Измерения обычно выполняются с помощью высокоскоростных систем сбора данных. На рынке можно найти несколько типов измерительных приборов (в том числе «пульсметров»), но в настоящее время нет общепринятого подхода к метрологическому обеспечению таких приборов, что приводит к невозможности сравнения результатов измерений между различными инструментами и различными лабораториями.

Гибридные измерительные приборы, использующие спектрорадиометры и широкополосные средства измерений

Одной из проблем для производителей и пользователей фотометрических приборов является расхождение между спектральной чувствительностью прибора и кривой спектральной световой эффективности. Невозможность идеально воспроизвести кривую видности глаза приводит к ошибкам измерения. Это особенно заметно при измерении источников света с узким спектром, таких как цветные светодиоды. Некоторые устройства, доступные в настоящее время на рынке, используют встроенный спектрорадиометр, предназначенный для коррекции спектрального рассогласования фотометра в режиме реального времени. Кроме того, в процессе измерения также можно получить колориметрические данные, то есть координаты цветности, коррелированную цветовую температуру, цветопередачу и индексы точности цветопередачи (colour fidelity indices).

## Деятельность МКО

Созданы новые технические комитеты МКО, которые в настоящее время работают над техническими отчетами

для предоставления рекомендаций по метрологическим характеристикам и методам калибровки некоторых из этих устройств. Ожидается, что в ближайшем будущем появятся и другие новые технические комитеты. Однако в большинстве случаев по-прежнему необходимо проведение дополнительных исследований, а период времени, отпущенный для завершения технического отчета или стандарта, часто слишком мал. Несмотря на это, необходимо уже сейчас определить критерии качества и процедуры калибровки для таких устройств, как гониофотометры ближнего поля и высокоскоростные измерительные системы, предназначенные для количественного определения быстро изменяющихся (импульсных, модулированных, пульсирующих) оптических сигналов, поскольку такие устройства все шире применяются на практике. Поэтому МКО призывает новых членов не только участвовать в технических комитетах, но и предлагать техническим комитетам практические исследования по открытым темам. Наличие нескольких исследовательских групп, работающих параллельно, способно помочь техническому комитету более эффективно выполнять свою работу.

Ключевыми вопросами для исследований являются:

- Какие показатели качества необходимы для характеристики современных фотометрических и радиометрических устройств? Как эти показатели соотносятся с неопределенностью измерений, встречающейся в типичных ситуациях фотометрических измерений?
- Как описать математические модели и уравнения, характеризующие процедуру измерения?
- Каким будет типичный бюджет неопределенности для измерений на конкретных типах оборудования и для измерения различных типов источников света?
- Как калибровать эти новые типы устройств? Какие инструменты являются наилучшими средствами передачи фотометрических и радиометрических единиц измерений новым приборам?

Дополнительная мотивация для этих исследований заключается в том, что новые аспекты, такие как «умное» освещение (например, адаптивное освещение и освещение с использованием датчиков) и реализация других исследовательских тем в списке приоритетов Стратегии исследований МКО, подразумевают, с одной стороны, необходимость полностью охарактеризовать ситуацию с освещением, включая дневной и искусственный свет от разных источников, а с другой — тщательно описать источники света с точки зрения спектральных и пространственных характеристик.

Почти во всей физической метрологии прослеживаемость результатов измерений соотносится с Международной системой единиц (СИ) и является обязательной. Новые знания необходимы для обобщения измерений, выполняемых на основе как источников, так и приемников при различных условиях окружающей среды. Для решения этих задач необходимы новые устройства и измерительные системы, такие как описанные выше. Результаты этих исследований повысят качество фотометрических и радиометрических измерений в целом и, следовательно, повысят доверие к осветительным приборам. Наличие надежных и прослеживаемых измерений также

является необходимым условием для разработки и проверки интеллектуальных систем на основе датчиков, используемых при создании «умного» и адаптивного освещения.

Основные вопросы и темы, описанные выше, определены в стратегии исследований МКО, доступной на веб-сайте МКО (<http://www.cie.co.at/research-strategy>). Эти направления стратегии исследований МКО управляются Подразделением 2. Работа подразделения посвящена физическим измерениям света и излучения, которые включают в себя изучение методов оценки ультрафиолетового, видимого и инфракрасного излучения, а также определение оптических свойств и характеристик физических детекторов и других устройств, необходимых для их оценки. ●

*Оригинал статьи опубликован в журнале LED professional, май-июнь 2018.*

### Литература

1. CIE 070:1987 The Measurement of Absolute Luminous Intensity Distributions.
2. CIE 084:1989 Measurement of Luminous Flux.
3. CIE 121:1996 The Photometry and Goniophotometry of Luminaires.
4. CIE 210:2014 Photometry Using  $V(\lambda)$ -Corrected Detectors as Reference and Transfer Standards.
5. CIE TN 006:2016 Visual Aspects of Time-Modulated Lighting Systems — Definitions and Measurement Models.