

МЕТОД ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЕДИНИЦЫ СВЕТОВОГО ПОТОКА ЛЮМЕНА

Баковец Н.В, Скумс Д.В, Тарасова О.Б.

Белорусский государственный институт метрологии
Минск, Республика Беларусь

В настоящее время большинство метрологов, работающих в области оптической радиометрии, склоняются к тому, что в оптической радиометрии основной или базовой величиной должен считаться поток излучения (мощность) и его единица ватт (Вт), и соответственно в фотометрии – световой поток и его единица люмен. Это мнение получило значимую поддержку после развития и широкого распространения метода детекторного подхода при создании эталонов в области оптической радиометрии, и МКО принял его в качестве основополагающего.

Световой поток — величина, образующаяся от потока излучения Φ_e при оценке излучения по его действию на стандартного фотометрического наблюдателя МКО. Для условий дневного зрения

$$\Phi_v = K_m \int \frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \cdot V(\lambda), \quad (1)$$

где $\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda}$ — спектральное распределение потока излучения;

$V(\lambda)$ — относительная спектральная световая эффективность;

K_m — калибровочный множитель.

Абсолютный метод воспроизведения единицы светового потока источников излучения коррелирован с методом воспроизведения единицы силы света — канделы. Данный метод основан на применении фотометрического шара и внешнего по отношению к нему эталонного источника излучения.

Схематично абсолютный метод воспроизведения единицы светового потока проиллюстрирован на рисунке 1.



Рисунок 1 — Принцип измерения светового потока абсолютным методом

Эталонный световой поток создается внешним источником и попадает внутрь фотометрического шара через отверстие с калиброванной апертурой, а его значение определяется освещённостью, создаваемой на входной апертуре. Для изотропного точечного источника излучения световой поток

$$\Phi_{эм} = E_v \cdot A, \quad (2)$$

где E_v — освещённость на входной апертуре, лк;
 A — площадь входной апертуры, м².

Фотометр, с помощью которого измеряется освещённость на входной апертуре, обеспечивает прослеживаемость от единицы освещённости люкс к единице светового потока — люмену.

При освещении внутренней поверхности фотометрического шара внешним источником излучения, фотометр измеряет сигнал $y_{эм}$. Если перекрыть внешний источник излучения и включить внутренний (калибруемый) источник излучения, сигнал будет равен $y_{кал}$. Зная значение светового потока $\Phi_{эм}$, приписанное внешнему (эталонному) источнику излучения, световой поток $\Phi_{кал}$ калибруемого источника излучения будет

$$\Phi_{кал} = f \Phi_{эм} \frac{y_{кал}}{y_{эм}}, \quad (3)$$

где f — поправочный коэффициент. Для идеальной системы $f = 1$. Для реальной системы f отличен от единицы и должен быть определен в результате исследований. Поправочный коэффициент учитывает:

– неоднородность отклика внутреннего покрытия фотометрического шара. Возникает из-за неоднородности напыления отражающего материала; наличия крепежной арматуры и защитных экранов внутри фотометрического шара; зазора между половинами, составляющими фотометрический шар и т. п. Особенно важно определить поправочный коэффициент для внешнего источника, поскольку он освещает небольшую часть внутренней поверхности фотометрического шара.

– пространственную коррекцию для калибруемого источника. Распределение излучения источника влияет на равномерность освещения внутренней поверхности фотометрического шара (пространственное распределение большинства эталонных ламп светового потока примерно однородно, поэтому определять данный фактор для каждой лампы в отдельности не требуется).

– спектральное рассогласование источников излучения. Необходимо производить поправку, если спектральные распределения эталонного и

калибруемого источников излучения различаются. Это вызвано тем, что отражающее покрытие внутренней поверхности фотометрического шара может иметь зависимость коэффициента отражения от длины волны падающего излучения, а спектральная чувствительность фотометра отличаться от относительной световой эффективности $V(\lambda)$.

– угол падения излучения. Отражательная способность внутренней поверхности фотометрического шара зависит от угла падения излучения. Внешний источник освещает внутреннюю поверхность фотометрического шара под углом 45° , в то время как свет от внутреннего источника излучения падает по нормали.

– неравномерность освещения входной апертуры. Освещённость, создаваемая внешним источником, измеряется в центре входной апертуры. Однако, распределение ее по всей поверхности апертуры неравномерно, что может быть вызвано дрожанием тела накала лампы. Кроме того, поскольку расстояние между внешним источником излучения и входной апертурой относительно невелико, падающий волновой фронт надо рассматривать как сферический, что вызывает падение освещённости к краям апертуры.

Установка для воспроизведения, хранения и передачи размера единицы светового потока (рисунки 1) состоит из: фотометрического шара; внешнего (эталонного) источника излучения; внутреннего (калибруемого) источника излучения; эталонного фотометра для измерения освещённости F1; фотометра F2, входящего в состав фотометрического шара и прецизионной входной апертуры А. Экраны В1 и В2 предотвращают попадание прямого света от внешнего источника излучения на фотометр F2.

Фотометрический шар, как правило, состоит из двух половин, стыкуемых в вертикальной плоскости. Одна половина фиксируется неподвижно, вторая может двигаться для доступа внутрь. Фотометрический шар снабжен пневматическим устройством открытия/закрытия. Цикл открытия/закрытия практически не влияет на воспроизводимость результатов измерения. На внутреннюю поверхность фотометрического шара нанесено светоотражающее покрытие с коэффициентом отражения более 80 %.

На расстоянии 100 мм от внешнего источника излучения находится блок калиброванных диафрагм в светонепроницаемом корпусе из анодированного алюминия. Все внутренние поверхности диафрагм должны быть покрыты светопоглощающим материалом черного цвета. Первые две диафрагмы с внутренним отверстием диаметром 50 мм предназначены для защиты от рассеянного света. Последняя диафрагма имеет ка-

либрованное внутреннее отверстие. Диаметр внутреннего отверстия этой диафрагмы может меняться. В набор входят апертуры 30, 40 и 50 мм диаметром. Апертуры сопряжены с эталонным фотометром F1, чтобы обеспечить постоянство расстояния. Внешний источник и блок апертуры монтируются неподвижно на закрепленном оптическом столе.

Спектральная чувствительность приемников излучения в фотометрах F1 и F2 соответствует относительной световой эффективности $V(\lambda)$. Оба фотометра термостабилизированы. Внешний фотометр F1 имеет входную апертуру диаметром 8 мм. Внутренний фотометр F2 так же имеет входную апертуру диаметром 8 мм, но она закрыта диффузором. Фототок проходит через низкошумный преобразователь ток-напряжение и измеряется цифровым вольтметром.

Заключение

В рамках программы по развитию национальной эталонной базы Республики Беларусь в БелГИМ проводятся работы по созданию эталона единицы светового потока источников излучения – люмена. В состав эталона, отдельным блоком, входит устройство для калибровки фотометрических шаров. Данное устройство предназначено для периодических исследований свойств эталона с целью подтверждения его метрологических характеристик.

1. Doctoral Dissertation Jari Hovila “New measurement standards and methods for photometry and radiometry”, Helsinki University of Technology.
2. Total luminous flux measurement intercomparison of two collection geometries: the integrating sphere and the integrating hemisphere. McKee, G.A., Labsphere; Ohkubo K., Otsuka Electronics Co; Oshima, K., Otsuka Electronics Co; Cariou, N. Labsphere.
3. Detector-Referenced Sphere Photometry for Industry. Yoshi Ohno and Rolf S. Bergman. National Institute of Standards and Technology.
4. NIST Facility for Total Spectral Radiant Flux Calibration. Yoshi Ohno and Yugin Zong. National Institute of Standards and Technology.
5. Integrating Sphere Theory for Measuring Optical Radiation. Kazuaki OHKUBO, Otsuka Electronics.
6. CIE. Publ. № 53. Methods of Characterizing the Performance of Radiometers and Photometers. – Vienna, CIE Central Bureau.
7. Игнатьев, В.И. Международная регламентация требований по оценке качества радиометрических и фотометрических приборов. Сборник научных трудов ВНИИФТРИ.