

линий. Однако, применяя метод спектральной пирометрии [1] удалось определить параметры черного тела, эквивалентного по своим спектрально-энергетическим свойствам пламени исследуемого зажигательного элемента.

#### Литература

1. А.Н. Магунов Измерение температуры объектов с неизвестной излучательной способностью методом спектральной пирометрии // Научное приборостроение, 2010. – Том 20. – № 3. – С. 22–26

535.24

### КОНЦЕПЦИЯ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ СПЕКТРОРАДИОМЕТРИЧЕСКИХ И РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Гуревич В.Л.<sup>1</sup>, Кривonos П.В.<sup>1</sup>, Скумс Д.В.<sup>1</sup>, Длугунович В.А.<sup>2</sup>, Никоненко С.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Республиканское унитарное предприятие «Белорусский государственный институт метрологии»  
Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Государственное научное учреждение «Институт физики НАН Беларуси»  
Минск, Республика Беларусь

Радиометрические и спектрометрические характеристики твердых, жидких и газообразных сред и испускаемого ими оптического излучения в значительной мере содержат наиболее полезную информацию о свойствах природных и искусственных образований. Различная оптоэлектронная техника, которая применяется в оптических методах неразрушающего контроля и диагностики в промышленности, сельском хозяйстве, медицине и санитарии, охране окружающей среды, контроле безопасных условий труда и др., необходима для получения информации об измеряемых радиометрических и спектрометрических величинах. В Беларуси широко используется, разрабатывается, и выпускается различная оптоэлектронная техника, работающая в спектральном диапазоне от 0,2 до 25,0 мкм, поэтому создание и развитие ее метрологического обеспечения, прогнозирование ее ресурса, повышение уровня точности и достоверности измерений параметров и характеристик оптического излучения является важной государственной задачей. Решение этой задачи будет способствовать удовлетворению потребностей субъектов различных форм собственности в метрологическом контроле радиометрической и спектрометрической техники, в том числе и специального назначения, улучшению качества выпускаемой и используемой отечественной продукции, и повышению ее конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках.

Базовыми элементами системы обеспечения единства измерений (СОЕИ) в любой области измерений являются: эталоны соответствующих физических величин; рабочие эталоны, обеспечивающие передачу размера этих величин средствами измерений (СИ); технические нормативные правовые акты и методическая документация; аккредитованные калибровочные, поверочные и испытательные лаборатории.

В 2019 г. в рамках подпрограммы «Эталонная Беларусь» ГНТП «Эталонная и научная аппаратура»

на 2016 – 2020 гг. создан Национальный эталон единиц спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ), спектральной плотности энергетической освещенности (СПЭО) и силы излучения в диапазоне длин волн от 0,2 до 3,0 мкм. Эталон является первичным. Функционально он состоит из трех основных систем: комплекса СИ для воспроизведения единиц (КСИВЕ) СПЭЯ излучения и создаваемой СПЭО, основой которого является модель высокотемпературного черного тела (МВЧТ) ВВ3500М производства ВНИИОФИ (Россия); системы для измерений СПЭО и СПЭЯ в ультрафиолетовой (УФ) области спектра (УФ-система), системы для калибровки широкоапертурных СИ. Воспроизведение единицы СПЭЯ на эталоне осуществляется с помощью МВЧТ ВВ3500М. Следует отметить, что подобные МВЧТ используются в составе эталонов ведущих национальных метрологических институтов (НМИ) мира NIST (США), PTB (Германия), NPL (Великобритания), а также ряда других стран (Китай, Южная Корея, Малайзия и др.). Прецизионные измерения температуры полости МВЧТ выполняют эталонным линейным пирометром LP5, который также используется в составе эталонов ведущих НМИ. Посредством спектральных систем КСИВЕ (0,35 – 3,00 мкм) и УФ-системы (0,20 – 0,90 мкм) значения СПЭЯ и СПЭО передают комплектам эталонных ламп, которые выполняют функцию вторичных эталонов и хранят соответствующие шкалы СПЭЯ и СПЭО. УФ-система эталона позволяет проводить измерения спектрометрических характеристик и силы излучения не только ламповых, но и других типов излучателей, например, светодиодов, при этом можно измерить пространственное распределение их силы излучения. С помощью системы для калибровки широкоапертурных СИ осуществляется калибровка спектрометров.

Основные метрологические характеристики эталона в спектральном диапазоне от 0,2 до 3,0 мкм следующие: воспроизведение единицы

СПЭЯ с расширенной неопределенностью ( $k = 2$ ,  $P = 95\%$ ) в зависимости от длины волны излучения от 2,03 % до 0,69 %; воспроизведение единицы СПЭО в спектральном диапазоне от 0,2 до 3,0 мкм в диапазоне от  $4,5 \cdot 10^{-3}$  до  $2,8 \cdot 10^{10}$  Вт·м<sup>-3</sup>·ср<sup>-1</sup> с расширенной неопределенностью ( $k = 2$ ,  $P = 95\%$ ) в зависимости от длины волны излучения от 2,03 % до 0,70 %; воспроизведение силы излучения в диапазоне от  $2 \cdot 10^{-1}$  до  $1 \cdot 10^2$  Вт·ср<sup>-1</sup> с расширенной неопределенностью ( $k = 2$ ,  $P = 95\%$ ) не более 0,3 %.

В 2015 г. консультативный комитет фотометрии и радиометрии Международного бюро мер и весов разработал практические рекомендации для определения единицы силы света – кандели и связанных производных единиц, в том числе радиометрических, в которых указано, что в качестве эталонного первичного приемника, вместо криогенного радиометра в первичных эталонах единиц оптических величин можно использовать так называемый приемник излучения с предсказуемой квантовой эффективностью – PQED детектор [1]. Отметим, что в 2017 г. БелГИМ приобрел PQED детектор и на его основе разработана установка для первичного воспроизведения единицы силы света.

Таким образом, с учетом имеющихся в БелГИМ национальных эталонов единиц спектральной чувствительности приемников излучения; светового потока источников непрерывного излучения; силы света и освещенности; цвета и спектральных коэффициентов направленного пропускания и диффузного отражения в диапазоне длин волн от 0,2 до 2,5 мкм и технических возможностей PQED детектора, имеется эталонная база для СОЕИ спектрорадиометрических и радиометрических величин.

В настоящее время в Беларуси действуют два межгосударственных стандарта [2, 3], введенных в действие практически одновременно и установивших две поверочные схемы для спектрорадиометрических и радиометрических величин. В качестве основы национальной СОЕИ спектрорадиометрических и радиометрических величин выбрана поверочная схема по ГОСТ 8.195-2013. Обоснование этого выбора рассмотрено в [4].

С учетом того, что в Беларуси имеется ряд аккредитованных калибровочных, поверочных и испытательных лабораторий (в БелГИМ, Институте физики НАН Беларуси, БелЛИСС, НИИ ПФП БГУ и др.), в которых имеются необходимые рабочие эталоны для измерений спектрорадиометрических и радиометрических величин и разработаны соответствующие методики выполнения измерений, калибровки и поверки СИ, можно

констатировать, что национальная СОЕИ спектрорадиометрических и радиометрических величин создана и успешно функционирует.

Основными перспективными направлениями развития созданной СОЕИ являются:

- разработка на основе МВЧТ ВВ3500М шкалы высоких температур путем применения эвтектиков Ir-C и Re-C для создания реперных точек с температурами плавления 2569 и 2778 К соответственно;

- разработка и создание установки для воспроизведения и передачи единицы энергетической освещенности в диапазоне длин волн от 0,2 до 3,0 мкм, что позволит в первую очередь обеспечить метрологический контроль в Беларуси солнечную энергетику;

- разработка эталона на основе гониометра и спектрорадиометра для воспроизведения и передачи единицы спектральной плотности полного потока излучения в диапазоне длин волн от 0,3 до 1,1 мкм.

- модернизация Национального эталона спектральной чувствительности приемников оптического излучения с целью расширения его спектрального диапазона в УФ и инфракрасную область спектра.

#### Литература

1. Zwinkels, J. Mise en pratique for the definition of the candela and associated derived units for photometric and radiometric quantities in the International System of Units (SI) / J. Zwinkels [et al] / Metrologia. – 2016. – Vol. 53.
2. ГОСТ 8.195-2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений спектральной плотности энергетической яркости, спектральной плотности энергетической освещенности, силы излучения и энергетической освещенности в диапазоне длин волн от 0,2 до 25,0 мкм. – Введ. 2016 – 02 – 01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 12 с.
3. ГОСТ 8.197-2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений спектральной плотности энергетической яркости, спектральной плотности потока излучения, спектральной плотности энергетической освещенности, спектральной плотности силы излучения, потока и силы излучения в диапазоне длин волн 0,001-1,600 мкм. – Введ. 2016 – 03-01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 8 с.
4. Концепция системы обеспечения единства измерений спектрорадиометрических величин, используемых в оптоэлектронной технике Республики Беларусь // В.А. Длугунович [и др.] / Метрология-2019: Тезисы докладов Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 27-28 марта 2019 г. / Под общ. ред. канд. техн. наук Гуревича В.Л. – Мн.: БелГИМ, 2019. – С. 94-101.