

Литература

1. Козаченко М. Л. Преобразователь первичный измерительный калориметрический ТПИ-2-5 // Квантовая электроника. 1978. Т. 5. № 11. С. 2509—2512.
2. Козаченко М. Л. Установка для поверки средств измерения энергии оптических квантовых генераторов // Метрология и измерительная техника. 1975. Вып. 8. С. 3—10.
3. Козаченко М. Л. Образцовое средство измерения энергии лазерного излучения ТПИ-2-5(О) // Квантовая электроника. 1978. Т. 5. № 11. С. 2513—2515.
4. Козаченко М. Л. Высокоточные калориметрические преобразователи для рабочих и эталонных средств измерений средних и больших уровней энергетических величин, характеризующих лазерное излучение. М: Университетская книга, 2005.
5. ГОСТ 8.275—78. ГСИ. Государственный первичный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений средней мощности лазерного излучения в диапазоне длин волн 0,3—12,0 мкм.
6. ГОСТ 8.276—78. ГСИ. Государственный специальный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений энергии импульсного лазерного излучения в диапазоне длин волн 0,3—12,0 мкм.
7. Козаченко М. Л., Хатырев Н. П., Яковлев В. А. Рабочий эталон единицы энергии импульсного лазерного излучения на длине волны 10,6 мкм. М: Изд.-во ВНИИФТРИ, 1984.
8. Певзнер Я. Б. и др. Метрологическое обеспечение в области измерений средней мощности излучения технологических лазеров // Электротехника. 1988. № 11. С. 27—30.
9. Жучкова З. В. и др. Измерительные затворы ЗМ-150 и ЗМ-70 // Тез. докл. семинара «Применение лазеров в науке и технике». Тольятти, 1989. С. 125.
10. Козаченко М. Л., Хатырев Н. П. Образцовые средства измерений средней мощности непрерывного лазерного излучения ОСИСМ-1-70 // Там же. С. 126.
11. Козаченко М. Л. и др. Первичные измерительные калориметрические градиентные преобразователи средней мощности лазерного излучения // Измерительная техника. 1990. № 2. С. 27—28.
12. Козаченко М. Л., Хатырев Н. П. Ослабитель лазерного излучения механический барабанный ОМ-120Б // Тез. докл. семинара «Применение лазеров в науке и технике». Тольятти, 1989. С. 128—130.
13. Дойникова Ю. В., Козаченко М. Л., Хатырев Н. П. Создание образцового средства измерения средней мощности излучения технологических лазеров ОСИСМТЛ-1-120 // Измерительная техника. 1990. № 6. С. 23—25; Doinikova Yu. V., Kozachenko M. L., Khatyrev N. P. Setting up the OSISMTL-1-120 substandard means of measuring the mean continuous-wave power from engineering laser // Measurement Techniques. 1990. V. 33. N. 6. P. 565—567.
14. Дойникова Ю. В., Козаченко М. Л., Хатырев Н. П. Разработка калориметрических преобразователей энергии лазерного излучения ИПЭ-1-150 и ИПЭ-1-120М // Измерительная техника. 1990. № 7. С. 24—26.
15. Козаченко М. Л. Повышение точности калибровки широкоапертурных средств измерений энергетических параметров лазерного излучения // Измерительная техника. 2005. № 7. С. 25—28; Kozachenko M. L. A means of increasing the calibration precision of wide-aperture devices for measurement of the energy parameters of laser radiation // Measurement Techniques. 2005. V. 48. N. 7. P. 663—667.
16. Козаченко М. Л. Повышение точности относительных измерений зонной характеристики широкоапертурных средств измерений энергетических параметров лазерного излучения // Метрология. 2005. № 11. С. 9—18.

Дата принятия 09.09.2014 г.

535.233:536.52:621.384.3

Состояние и направления развития вторичного эталона единиц энергетической яркости и температуры по инфракрасному излучению

К. А. ШАРГАНОВ*, А. П. ШКУРКИН*, Ю. А. СИЛЬД**, Е. В. ВИЗУЛАЙНЕН**

* Государственный научный метрологический центр Минобороны России, Мытищи, Россия, e-mail: kasharganov@yandex.ru

** Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева, С.-Петербург, Россия

Рассмотрены состояние и варианты дальнейшего совершенствования вторичного эталона единиц энергетической яркости и температуры по инфракрасному излучению.

Ключевые слова: энергетическая яркость, температура, вторичный эталон.

This paper presents current state and further developments and enhancements of the state standard of total radiance and radiation temperature units. Main missions of the standard are described as well as methods of unit transfer realized in the standard's setups.

Key words: measurements, total radiance, radiation temperature, secondary standard.

С целью получения достоверных сведений о техническом состоянии оборудования, определения соответствия оборудования и объектов предъявляемым требованиям, в том числе, для предотвращения возможных неполадок или

аварий, эксплуатирующим организациям необходима надежная техническая диагностика. В настоящее время один из наиболее эффективных и точных методов контроля оборудования основан на диагностике объекта по его тепलो-

му состоянию (температуре). Быстрое развитие современных средств измерений (СИ), работающих на некогерентном оптическом излучении в инфракрасном диапазоне (ИК) длин волн, предъявляет высокие требования к эталонной базе, подтверждающей их метрологические и технические характеристики. Парк СИ постоянно пополняется и совершенствуется, он включает тепловизоры, пирометры, источники излучения (излучатели на основе моделей абсолютно черных тел (АЧТ)), радиометрические и тепловизионные комплексы.

Для обеспечения единства и достоверности измерений энергетических характеристик ИК-излучения в ГНМЦ Минобороны России функционирует вторичный эталон единиц энергетической яркости и температуры. Эталон был разработан и принят в эксплуатацию в конце 1980-х гг., его назначение — воспроизведение, хранение и передача единиц энергетической яркости и температуры по ИК-излучению. Основополагающим физическим принципом работы эталона является закон Стефана-Больцмана

$$B = \sigma \varepsilon_0 T^4 / \pi, \quad (1)$$

где $\sigma = (5,67051 \pm 0,00057) \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$ — постоянная Стефана-Больцмана; ε_0 — излучательная способность модели АЧТ, T — температура ее излучающей, соответствующая температуре фазового перехода чистого вещества.

Эталон состоит из двух взаимно независимых комплексов: низкотемпературного, обеспечивающего хранение, воспроизведение и передачу единиц в диапазонах 280—350 К по температуре ИК-излучения и 40—380 Вт/(ср·м²) по энергетической яркости, и высокотемпературного — в диапазонах 350—1300 К и 380—51550 Вт/(ср·м²) [1].

Учитывая возросший спрос на услуги по метрологическому обеспечению прецизионных рабочих СИ и разрядных эталонов, эксплуатируемых в различных структурах и ведомствах, была проведена модернизация вторичного эталона. Переработана локальная поверочная схема, регламентирующая порядок передачи указанных единиц, методы и средства передачи, а также их погрешности.

Результатом модернизации явилось значительное расширение возможностей вторичного эталона. Благодаря автоматизации большей части измерений обеспечена одновременная передача единиц нескольким СИ. В 1,5 раза снижено время установления рабочего режима работы эталона, но главное удалось увеличить диапазон передачи температуры по ИК-излучению с 1300 до 2773 К и энергетической яркости с 51550 до 61283 Вт/(ср·м²) при одновременном уменьшении на 15 % случайных и неисклученных систематических погрешностей при воспроизведении и передаче единиц. Данное обстоятельство позволило реализовать требования актуальных руководящих документов [2—5]. Такие результаты удалось получить благодаря использованию в составе эталона современных высокоточных СИ отечественного производства.

Исходя из функционального назначения в состав вторичного эталона были включены пирометры и полные тепловые излучатели, выполненные в виде модели АЧТ на основе фазовых переходов чистых веществ (воды, галлия, олова, цинка, меди и алюминия) с плавно регулируемой температурой. В ходе модернизации специально для эталона были разработаны и изготовлены радиометры-компараторы, аппаратура для поддержания заданной температуры тепловых излучателей, стенды сличения, разработано специальное программное обеспечение.

Вторичный эталон успешно прошел государственные испытания, проведено сличение с Государственным первич-

ным эталоном единицы энергетической яркости инфракрасного излучения (ГЭТ 48—01) [2] и Государственным первичным эталоном единицы температуры в диапазоне от 0 до 3000 °С (ГЭТ 34—2007) [3], которое подтвердило его метрологические характеристики.

В июне 2014 г. Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии принято решение об утверждении вторичного эталона единиц энергетической яркости и температуры по ИК-излучению. Вторичный эталон предназначен для воспроизведения, хранения и передачи единиц энергетической яркости и температуры по ИК-излучению эталонам-переносчикам, эталонам низших разрядов и рабочим СИ в стационарных условиях и на местах их эксплуатации.

Конструктивно эталон состоит из двух независимых комплексов аппаратуры, условно разделенных по уровню воспроизводимых температур: низкотемпературного и высокотемпературного. Они размещены в специально оборудованных помещениях, отвечающих эксплуатационным требованиям. Аппаратура комплексов позволяет передавать единицы энергетической яркости и температуры по ИК-излучению в соответствии с локальной поверочной схемой, обеспечивая условия передачи единиц во всем диапазоне. Для расширения функциональных возможностей в локальную поверочную схему были впервые включены эталоны-переносчики, а в состав вторичного эталона введены вспомогательные устройства, позволяющие осуществлять передачу единиц величин непосредственно на местах эксплуатации СИ. Эталон раз в два года сличается с государственными первичными эталонами и является их резервом.

Дальнейшее совершенствование вторичного эталона связано с созданием: аппаратно-методического комплекса воспроизведения и передачи единицы силы ИК-излучения эталонам-переносчикам, эталонам низших разрядов и рабочим СИ; комплексных устройств, удовлетворяющих требованиям предъявляемым к разрядным эталонам, в составе которых находится измерительный тепловизор, радиометр-компаратор, источники излучения (излучатели на основе моделей АЧТ) для комплектования региональных метрологических центров. В результате этих работ должны быть уменьшены погрешности воспроизведения и передачи указанных единиц и расширена сфера применения эталона.

Л и т е р а т у р а

1. Шкуркин А. П. и др. Комплекс эталонных средств обеспечения единства измерений параметров и характеристик оптико-электронных систем двойного назначения, работающих по некогерентному оптическому излучению: состояние и развитие // Метрологическое обеспечение обороны и безопасности в РФ: Материалы IX Всерос. науч.-техн. конф. М., 2012. С. 159—161.

2. ГОСТ 8.106—2001. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений энергетической яркости и силы излучения тепловых источников с температурой от 220 до 1360 К.

3. ГОСТ 8.558—2009. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений температуры.

4. ГОСТ Р 8.619—2006. Приборы тепловизионные измерительные. Методика поверки.

5. ГОСТ Р 8.566—96. Излучатели эталонные (образцовые) в виде моделей абсолютно черного тела для диапазонов температур от минус 50 до плюс 2500 °С. Методика аттестации и поверки.

Дата принятия 04.09.2014 г.