

Государственный первичный эталон единиц радиометрических и спектрометрических величин в диапазоне длин волн от 0,2 до 25,0 мкм ГЭТ 86–2017

В. Р. Гаврилов, И. А. Григорьева, Е. А. Ивашин, Д. А. Отряскин, М. В. Солодилов,
Е. В. Солодилов, Б. Б. Хлевной, В. И. Саприцкий, М. Н. Павлович

Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений, Москва, Россия, e-mail: gavrilov@vniiofi.ru

Представлены состав и метрологические характеристики Государственного первичного эталона единиц радиометрических и спектрометрических величин в диапазоне длин волн от 0,2 до 25,0 мкм ГЭТ 86–2017. Описаны технические характеристики и принципы работы четырёх новых установок, которые введены в состав эталона в целях повышения точности воспроизведения и передачи единиц спектральной плотности энергетической яркости, спектральной плотности силы излучения и спектральной плотности энергетической освещённости, а также для воспроизведения и передачи единиц спектральной плотности полного потока излучения, энергетической освещённости и энергетической яркости монохроматического излучения, спектральной плотности потока излучения возбуждения и эмиссии флуоресценции.

Ключевые слова: термодинамическая температура, высокотемпературная реперная точка, энергетическая яркость, энергетическая освещённость, спектральная плотность энергетической яркости, спектральная плотность энергетической освещённости, спектральная плотность силы излучения, спектральная плотность полного потока излучения.

Государственный первичный эталон спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ), спектральной плотности силы излучения (СПСИ), спектральной плотности энергетической освещённости (СПЭО) в диапазоне длин волн от 0,25 до 25,0 мкм, силы излучения (СИ) и энергетической освещённости (ЭО) в диапазоне длин волн от 0,2 до 25,0 мкм ГЭТ 86–89 был разработан во Всероссийском научно-исследовательском институте оптико-физических измерений (ВНИИОФИ) в период с 1986 по 1988 гг. и сдан в эксплуатацию в 1989 г. [1]. В 2008–2010 гг. проведена модернизация ГЭТ 86–89 с целью расширения его динамического диапазона и коротковолновой границы спектрального диапазона воспроизведения единиц СПЭЯ, СПСИ и СПЭО с 0,25 мкм до 0,2 мкм. Также в результате применения более совершенных технических средств и методов измерений повышена точность воспроизведения и передачи единиц СПЭЯ, СПСИ, СПЭО, СИ и ЭО. По итогам выполненных работ утверждён Государственный первичный эталон единиц спектральной плотности энергетической яркости, спектральной плотности силы излучения, спектральной плотности энергетической освещённости, силы излучения и энергетической освещённости в диапазоне длин волн от 0,2 до 25,0 мкм ГЭТ 86–2010 и введён в действие ГОСТ 8.195–2013 [2].

В 2015–2017 гг. проведено совершенствование ГЭТ 86–2010. Цели совершенствования ГЭТ 86–2010:

повышение точности воспроизведения и передачи единиц СПЭЯ, СПСИ и СПЭО в результате введения в состав эталона комплекса оптических излучателей в виде высокотемпературных моделей чёрного тела (МЧТ) на фазовых переходах металлоуглеродных соединений кобальта Co–C ($T=1597,39$ K), рения Re–C ($T=2747,84$ K) и вольфрама W–C ($T=3020,60$ K);

создание эталонной установки на основе гониометра и спектрометра для воспроизведения и передачи единицы спектральной плотности полного потока излучения (СПППИ) для метрологического обеспечения энергосберегающей светотехнической продукции на основе светодиодов;

создание в составе эталона диффузного монохроматического источника излучения с перестраиваемой длиной волны на основе лазерной системы WhiteLase Supercontinuum 400–4 («белого лазера») (Fianium Ltd, Великобритания), монохроматора и интегрирующей сферы для воспроизведения и передачи единиц ЭО и энергетической яркости (ЭЯ) монохроматического излучения в интересах метрологического обеспечения многоэлементных приёмников излучения в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра;

создание в составе эталона установки на основе спектрометра, интегрирующей сферы и монохроматора для воспроизведения и передачи единиц спектральной плотности потока излучения (СППИ) возбуждения и эмиссии флуоресценции в целях обеспечения единства измерений при качественном и количественном флуоресцентном спектральном анализе, разработке и производстве новых флуорофоров, в том числе, на основе наноразмерных частиц для биомедицинских приложений.

В результате выполненных работ взамен ГЭТ 86–2010 утверждён Государственный первичный эталон единиц радиометрических и спектрометрических величин в диапазоне длин волн от 0,2 до 25,0 мкм ГЭТ 86–2017.

Данная статья посвящена описанию состава и метрологических характеристик ГЭТ 86–2017.

Назначение и состав ГЭТ 86–2017. ГЭТ 86–2017 предназначен для воспроизведения и передачи следующих единиц:

Т а б л и ц а 1

Метрологические характеристики ГЭТ 86–2017

Величина	Спектральный диапазон			
	0,2–2,5 мкм		2,5–25,0 мкм	
	Динамический диапазон	U_p ($k=3$), %	Динамический диапазон	U_p ($k=3$), %
СПЭЯ	$1,0 \cdot 10^5$ – $1,4 \cdot 10^{12}$ Вт/(ср·м ³)	0,18–1,20	$2,4 \cdot 10^7$ – $1,7 \cdot 10^{10}$ Вт/(ср·м ³)	0,12–0,15
СПСИ	$1,0 \cdot 10^2$ – $2,4 \cdot 10^8$ Вт/(ср·м)	0,24–1,20	$4,1 \cdot 10^3$ – $3,1 \cdot 10^6$ Вт/(ср·м)	0,33
СПЭО	$1,0 \cdot 10^2$ – $1,0 \cdot 10^9$ Вт/м ³	0,24–1,20	$4,1 \cdot 10^3$ до $3,1 \cdot 10^6$ Вт/м ³	0,33–0,36

Т а б л и ц а 2

Метрологические характеристики ГЭТ 86–2017 (продолжение)

Величина	Спектральный диапазон, мкм	Динамический диапазон	U_p ($k=3$), %
СИ	0,2–25,0	10–100 Вт/ср	0,27
ЭО	0,2–25,0	10–2000 Вт/м ²	0,27
СПППИ	0,3–1,1	$5 \cdot 10^5$ – $1 \cdot 10^9$ Вт/м	0,57–2,82
ЭО монохроматического излучения	0,45–1,60	$7,9 \cdot 10^{-6}$ – $1,9 \cdot 10^{-5}$ Вт/м ²	2,49–2,91
ЭЯ монохроматического излучения	0,45–1,60	$2,1 \cdot 10^{-2}$ – $5,1 \cdot 10^{-2}$ Вт/(ср·м ²)	2,49–2,91
СППИ возбуждения флуоресценции	0,25–0,80	$1 \cdot 10^3$ – $5 \cdot 10^5$ Вт/м	3,9–5,1
СППИ эмиссии флуоресценции	0,25–0,85	$1 \cdot 10^1$ – $5 \cdot 10^4$ Вт/м	4,5–5,7

СПЭЯ, СПСИ, СПЭО, СИ и ЭО непрерывного оптического излучения в диапазоне длин волн 0,2–25,0 мкм;

СПППИ в диапазоне длин волн 0,3–1,1 мкм;

ЭО и ЭЯ монохроматического излучения в диапазоне длин волн 0,45–1,60 мкм;

СППИ возбуждения и эмиссии флуоресценции соответственно в диапазонах длин волн 0,25–0,80 мкм и 0,25–0,85 мкм.

ГЭТ 86–2017 состоит из комплекса следующих технических средств измерений и специального оборудования:

эталонной установки на основе высокотемпературной МЧТ с регулируемой температурой от 1500 до 3200 К;

системы измерения термодинамической температуры МЧТ, включающей высокотемпературные МЧТ на фазовых переходах металлоуглеродных соединений Co–C, Re–C и WC–C;

радиационного термометра;

трэп-детектора;

фильтрового радиометра;

системы измерения спектральной чувствительности к освещённости фильтрового радиометра для воспроизведения единиц СПЭЯ, СПСИ, СПЭО в диапазоне длин волн 0,2–2,5 мкм, а также спектрального компаратора для передачи этих единиц;

эталонной установки на основе МЧТ ВВ–Cu с температурой фазового перехода плавления/затвердевания меди и спек-

трального компаратора для воспроизведения и передачи единиц СПЭЯ, СПСИ и СПЭО в диапазоне длин волн 2,5–25,0 мкм;

эталонной установки на основе абсолютного радиометра MAP-1 для воспроизведения и передачи единиц СИ и ЭО в диапазоне длин волн 0,2–25,0 мкм;

эталонной установки на основе гониометра и спектрометрического радиометра для воспроизведения и передачи единицы СПППИ в диапазоне длин волн 0,3–1,1 мкм;

эталонного диффузного монохроматического источника излучения с перестраиваемой длиной волны на основе «белого лазера», монохроматора и интегрирующей сферы для воспроизведения и передачи единиц ЭО и ЭЯ монохроматического излучения в диапазоне длин

волн 0,45–1,60 мкм;

эталонной флуориметрической установки на основе спектрометрического радиометра, интегрирующей сферы и монохроматора для воспроизведения и передачи единицы СППИ возбуждения флуоресценции в диапазоне длин волн 0,25–0,80 мкм и единицы СППИ эмиссии флуоресценции в диапазоне длин волн 0,25–0,85 мкм.

Метрологические характеристики ГЭТ 86–2017. Динамические и спектральные диапазоны воспроизведения единиц радиометрических и спектрометрических величин, а также соответствующие расширенные неопределённости U_p в относительных единицах при доверительной вероятности $P=0,99$ и коэффициенте охвата $k=3$ приведены в табл. 1,2.

Комплекс эталонных источников излучения в составе трёх высокотемпературных МЧТ на основе фазовых переходов металлоуглеродных соединений Co–C, Re–C, WC–C. Воспроизведение единиц СПЭЯ, СПСИ и СПЭО в диапазоне длин волн 0,2–2,5 мкм осуществляется на основе закона Планка с помощью высокотемпературной МЧТ с регулируемой температурой в диапазоне 1500–3200 К. Комплекс эталонных источников излучения в составе трёх высокотемпературных МЧТ на фазовых переходах металлоуглеродных соединений Co–C, Re–C, WC–C позволяет реализовать

радиометрический метод определения термодинамической температуры с использованием высокотемпературных реперных точек (ВТРТ). Данный метод заключается в сравнении сигналов радиационного термометра при регистрации излучения МЧТ на фазовом переходе и излучения МЧТ с регулируемой температурой. При этом неопределённость при воспроизведении единиц СПЭЯ, СПСИ и СПЭО уменьшается в 1,1–1,4 раза вследствие высокой точности измерений ВТРТ в зависимости от длины волны по сравнению с методом первичной радиометрии, основанным на измерении термодинамической температуры высокотемпературной МЧТ с регулируемой температурой с помощью фильтрового радиометра в режиме освещённости [3].

Основной и наиболее важной особенностью ВТРТ является их высочайший уровень воспроизводимости, ранее не достижимый другими оптическими источниками. ВТРТ представляет собой температуру фазового перехода затвердевание/плавление металлоуглеродного соединения, помещённого в графитовую ячейку с излучающей полостью. Ячейку устанавливают внутри высокотемпературной МЧТ, которую используют в качестве печи для разогрева ячейки излучением. Затем регистрируют излучение из выходного отверстия излучающей полости ячейки и методом первичной радиометрии измеряют термодинамическую температуру точки перегиба плато плавления.

Схема комплекса приведена на рис. 1. Три высокотемпературных МЧТ с установленными внутри ячейками размещены на одном оптическом столе. Излучение регистрируется радиационными термометрами 1, установленными на подвижной платформе 2.

Исследования температурных плато фазовых переходов плавления эвтектических соединений Co–C, Pt–C и Re–C были проведены в рамках проекта «Реализация нового кельвина» Консультативного комитета по термометрии Международного комитета мер и весов. В результате многолетних исследований, проводившихся рядом ведущих национальных метрологических институтов, включая ВНИИОФИ, рассматриваемым ВТРТ приписаны следующие значения [3, 4]:

$$T(\text{Re-C}) = (2747,84 \pm 0,35) \text{ K};$$

$$T(\text{Pt-C}) = (2011,43 \pm 0,18) \text{ K};$$

$$T(\text{Co-C}) = (1597,39 \pm 0,13) \text{ K}.$$

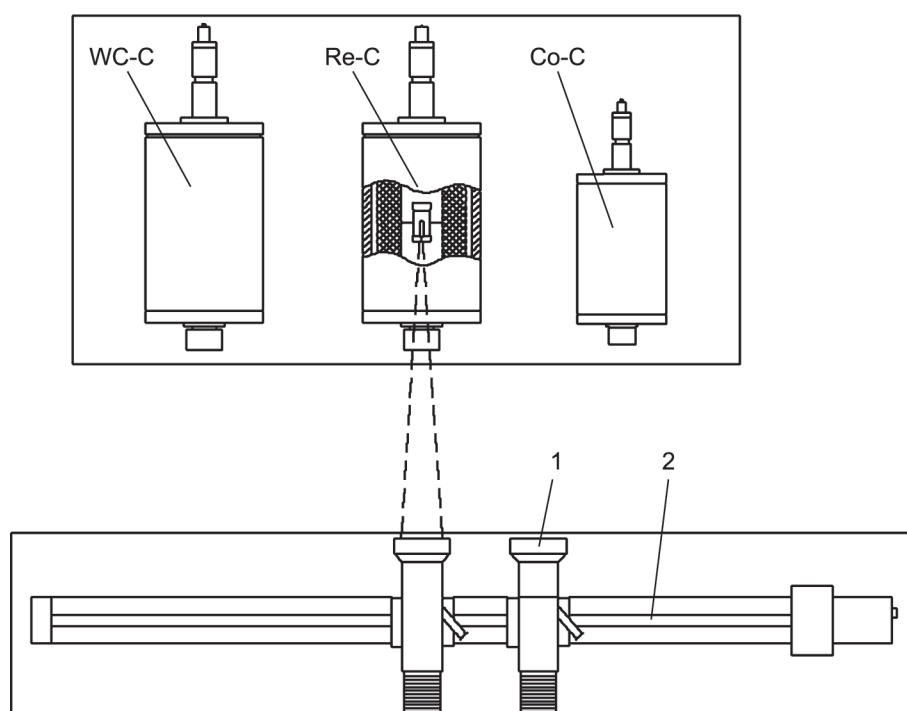


Рис. 1. Комплекс эталонных источников излучения в составе трёх высокотемпературных МЧТ на фазовых переходах металлоуглеродных соединений Co–C, Re–C, WC–C:
1 – радиационные термометры; 2 – подвижная платформа

В [4] указаны расширенные неопределённости результатов измерений при $P=0,95$. В результате метрологического исследования ГЭТ 86–2017 для ВТРТ на фазовом переходе перитектики вольфрама измерена температура $T(\text{WC-C}) = 3020,60 \text{ K}$ с расширенной неопределённостью $0,7 \text{ K}$ при $P=0,95$.

Эталонная установка на основе гониометра и спектрометрического радиометра для воспроизведения и передачи единицы СПППИ. В состав эталонной установки входят: гониометр типа С с системой фотометрирования в координатах С-γ; комплект эталонных источников излучения для воспроизведения и передачи единицы СПППИ; измерительный блок, включающий интегрирующую сферу, спектрометрический радиометр и фотометр; система регистрации и обработки информации.

Гониометр сконструирован на основе зачернённых алюминиевых профилей и оснащён набором жалюзи, уменьшающих пространственно рассеянный свет. Обе оси вращения управляются шаговым двигателем с плавным ускорением и контролем скорости.

Конструктивно измерительный блок представляет собой спектрометрический радиометр, оптический вход которого расположен на стенке интегрирующей сферы с диффузным покрытием (сульфат бария), принимающей излучение от измеряемого источника через входное отверстие. Внутренний диаметр интегрирующей сферы составляет 205 мм, диаметр входного отверстия – 50 мм. Такая конструкция позволяет создать равномерное поле освещённости на входной апертуре спектрометрического радиометра и снизить эффект поляризации излучения.

В состав измерительного блока входит также фотометр с аналогичным расположением оптического входа, предназначенный для контроля долговременной стабильности спектрорадиометра.

Основные технические характеристики
гониометра

Угловой диапазон по оси С	±180°
Угловой диапазон по оси γ (без учёта мертвого угла)	±180°
Максимальная угловая скорость – оси С, γ	45 °/с
Точность позиционирования по углам	0,1°
Воспроизводимость установки углов по осям С, γ	0,1°
Радиус измерительного рычага	550 мм
Диапазон позиционирования фотометрического центра измеряемого источника излучения	0–170 мм
Размер платформы для установки измеряемого источника излучения	80×80 мм
Максимальная масса измеряемого источника излучения	2 кг
Максимальный размер измеряемого источника излучения (диаметр или диагональ)	300 мм
Размеры гониометра Д×Ш×В	1500×1500×1900 мм
Масса гониометра	550 кг

Основными элементами конструкции спектрорадиометра являются кремниевая ПЗС-матрица (2048 пикселей) и дифракционная решётка. Температурная стабилизация осуществляется сенсорной системой с контролируемой температурой. Предусмотрены системы уменьшения рассеянного света и автоматической коррекции темнового тока.

Основные технические характеристики
спектрорадиометра

Спектральный диапазон	300–1100 нм
Физическое разрешение	0,5 нм
Спектральная ширина щели	3,5 нм
Время интегрирования	10–10000 мс
Стабилизация температуры	± 0,5° С
Отношение сигнал/шум	1000:1
Уровень спектрально рассеянного излучения	2·10 ⁻⁴
Размеры Д×Ш×В	48×262×89 мм
Масса	2,5 кг

Фотометр в составе измерительного блока характеризуется коэффициентом коррекции по кривой видности не более 3,0 %, и нелинейностью не более 0,1 %.

Воспроизведение единицы СПППИ осуществляется на основе закона Планка с помощью высокотемпературной МЧТ с регулируемой температурой. Сначала спектрорадиометр из состава эталонной установки устанавливают напротив эталонной МЧТ на расстоянии l_0 (расстояние между апертурной диафрагмой МЧТ и входной апертурой спектрорадиометра) и измеряют сигнал $i_0(\lambda)$ спектрорадиометра при

регистрации излучения МЧТ на различных длинах волн λ . Эталонная МЧТ имеет прецизионную апертурную диафрагму диаметром D_0 . Затем спектрорадиометр устанавливают в гониометр на расстоянии l (расстояние между фотометрическим центром эталонного источника излучения и входной апертурой спектрорадиометра) от эталонного излучателя (лампы или светодиода). Измеряют сигнал $i(\lambda, \theta, \varphi)$ спектрорадиометра на различных длинах волн λ и в различных пространственных направлениях, определяемых сферическими угловыми координатами θ, φ . По результатам измерений определяют угловое распределение СПСИ $I(\lambda, \theta, \varphi)$ эталонного излучателя по формуле

$$I(\lambda, \theta, \varphi) = \frac{\pi D_0^2 l^2}{4 l_0^2} \frac{i(\lambda, \theta, \varphi)}{i_0(\lambda)} \varepsilon(\lambda) \frac{c_1}{\pi \lambda^5 n^2} \left[\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T n}\right) - 1 \right]^{-1},$$

где T – термодинамическая температура МЧТ; $\varepsilon(\lambda)$ – эффективная спектральная излучательная способность МЧТ; n – показатель преломления воздуха; c_1, c_2 – первая и вторая радиационные постоянные.

В результате находят СПППИ $\Phi(\lambda)$. Для этого функцию углового распределения СПСИ $I(\lambda, \theta, \varphi)$ интегрируют по телесному углу:

$$\Phi(\lambda) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\Theta} I(\lambda, \theta, \varphi) \sin \theta d\varphi d\theta,$$

где $\Theta = \pi/2$ для телесного угла 2π ср (полный поток в полупространство); $\Theta = \pi$ для телесного угла 4π ср (полный поток во всё пространство).

Эталонный диффузный монохроматический источник излучения с перестраиваемой длиной волны на основе «белого лазера», монохроматора и интегрирующей сферы для воспроизведения и передачи единиц ЭО и ЭЯ. В состав эталонной установки входят:

лазерная система WhiteLase Supercontinuum 400-4 («белый лазер») в качестве мощного источника излучения с непрерывным спектром;

двойной дифракционный монохроматор;

интегрирующая сфера с прецизионной апертурной диафрагмой;

набор эталонных приёмников излучения с прецизионной апертурной диафрагмой;

линзы и зеркала для формирования оптических пучков; оптическая обратная связь, включающая фотодатчик, усилитель и встроенный пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор.

Функциональная схема эталонного диффузного монохроматического источника излучения показана на рис. 2. Все элементы оптической схемы диффузного монохроматического источника излучения установлены на оптическом столе под светозащитным кожухом. Лазерная система 1 имеет установленный на подвижном столике выходной наконечник 2, формирующий лазерный пучок. Коллимированный пучок лазерного излучения направляется на рассеивающую 3 и затем собирающую линзы 4. Обе линзы расположены на

подвижных столиках для прецизионной юстировки системы. В результате создаётся слабо сходящийся пучок излучения, который засвечивает входную щель монохроматора 5. Монохроматическое излучение определённой длины волны из выходной щели монохроматора поступает сначала на сферическое зеркало 6, затем на плоское зеркало 7 и далее засвечивает входную щель интегрирующей сферы 12. Сферическое и плоское зеркала интегрирующей сферы установлены на подвижных столиках для того, чтобы обеспечить засветку входной щели интегрирующей сферы слабо сходящимся однородным пучком монохроматического излучения. В результате многократных отражений от диффузной внутренней поверхности интегрирующей сферы на её выходной апертуре формируется квазиламбертовское монохроматическое излучение с высокой степенью пространственной однородности. Диаметр прецизионной апертурной диафрагмы интегрирующей сферы составляет 5 мм.

На пути слабо сходящегося пучка монохроматического излучения на подвижном столике установлено полупрозрачное зеркало 13. Проходящее излучение попадает на входную щель интегрирующей сферы, а отражённое излучение – на фоточувствительную поверхность датчика обратной связи (фотодиода) 14. После усилителя 15 сигнал фотодиода поступает на вход встроенного пропорционально-интегрально-дифференцирующего регулятора мощности излучения «белого лазера», который обеспечивает активную стабилизацию мощности лазерного излучения.

Воспроизведение единиц ЭО и ЭЯ монохроматического излучения осуществляется путём измерения сигнала эталонного приёмника излучения $i(\lambda)$ при регистрации излучения интегрирующей сферы. ЭО $E(\lambda)$ и ЭЯ $L(\lambda)$ монохроматического излучения на длине волны λ определяются по формулам

$$E(\lambda) = \frac{1}{\pi r_2^2} \frac{i(\lambda)}{S(\lambda)}; L(\lambda) = \frac{d^2}{\pi^2 r_1^2 r_2^2} \frac{i(\lambda)}{S(\lambda)},$$

где r_1 – радиус выходной апертуры интегрирующей сферы; r_2 – радиус входной апертуры приёмника излучения; d – расстояние между апертурами интегрирующей сферы и при-

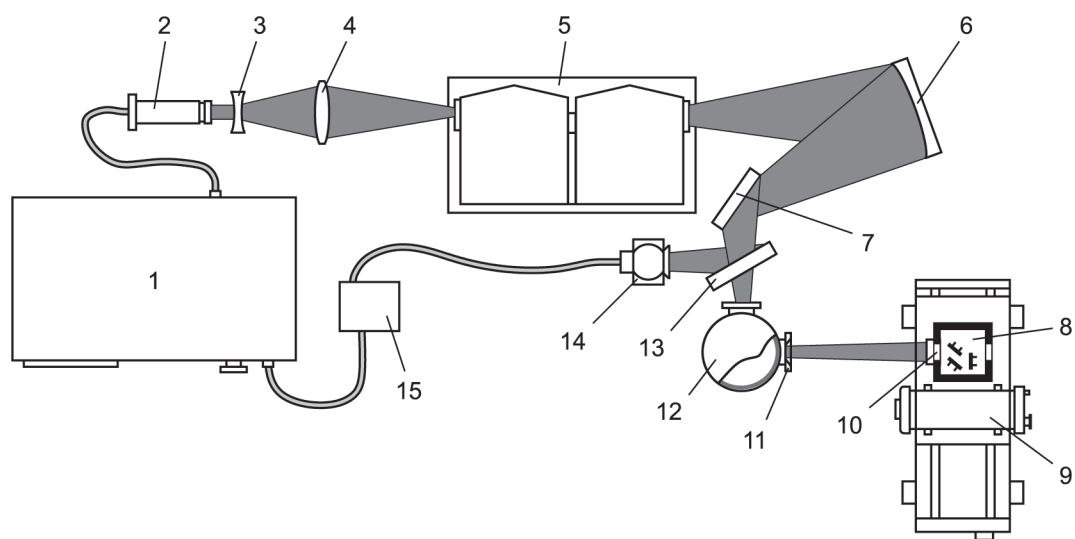


Рис. 2. Функциональная схема эталонного диффузного монохроматического источника излучения: 1 – белый лазер; 2 – выходной наконечник, формирующий лазерный луч; 3, 4 – рассеивающая и собирающая линзы соответственно; 5 – двойной дифракционный монохроматор; 6, 7 – сферическое и плоское зеркала соответственно; 8 – эталонный приёмник излучения; 9 – радиационный термометр; 10 – прецизионная апертурная диафрагма трэп-детектора; 11 – прецизионная апертурная диафрагма интегрирующей сферы; 12 – интегрирующая сфера; 13 – полупрозрачное зеркало; 14 – фотодатчик обратной связи; 15 – усилитель сигнала

ёмника излучения; $S(\lambda)$ – спектральная чувствительность приёмника излучения по потоку; $i(\lambda)$ – сигнал приёмника излучения.

В качестве приёмника излучения в спектральном диапазоне 450–950 нм используется трэп-детектор на основе трёх кремниевых фотодиодов, а в диапазоне длин волн 950–1600 нм – фотодиод InGaAs. Спектральную чувствительность $S(\lambda)$ измеряют с использованием Государственного первичного эталона абсолютной спектральной чувствительности в диапазоне длин волн от 0,25 до 14,00 мкм ГЭТ 213–2014 [4].

Заключение. Вследствие введения в состав ГЭТ 86–2017 новых установок достигнуто повышение точности воспроизведения и передачи единиц СПЭЯ, СПСИ и СПЭО. Кроме того, расширены области применения эталона, например для метрологического обеспечения энергосберегающей светотехнической продукции на основе светодиодов, многоэлементных приёмников излучения в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра. ГЭТ 86–2017 с описанными метрологическими характеристиками обеспечивает единство измерений при качественном и количественном флуоресцентном спектральном анализе, разработке и производстве новых флуорофоров, в том числе, на основе наноразмерных частиц для биомедицинских приложений.

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования высокоточных измерительных технологий в области фотоники, созданного на базе ФГУП «ВНИИОФИ» и поддержанного Минобрнауки России в рамках выполнения соглашения №14.595.21.0003 от 28.08.2017 г. (уникальный идентификатор RFMEFI59517X0003).

Л и т е р а т у р а

1. Саприцкий В. И. и др. Государственный первичный радиометрический эталон // Измерительная техника. 1990. № 11. С. 3–6.
2. ГОСТ 8.195-2013. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений спектральной плотности энергетической яркости, спектральной плотности силы излучения, спектральной плотности энергетической освещенности, силы излучения и энергетической освещенности в диапазоне длин волн от 0,2 до 25,0 мкм.
3. Хлевной Б. Б., Гаврилов В. Р., Отряскин Д. А., Григорьева И. А., Солодилов М. В., Самойлов М. Л., Саприцкий В. И. Измерение термодинамической температуры высокотемпературных реперных точек // Измерительная

техника. 2013. № 4. С. 53–57.

4. Woolliams E. R., Anhalt K. e. a. Thermodynamic temperature assignment to the point of inflection of the melting curve of high-temperature fixed points // Philos. Trans. Royal Soc. A. 2016. V. 374. Iss. 2064: 20150044. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2015.0044>.

5. Гаврилов В. Р., Дунаев А. Ю., Лисянский Б. Е., Морозова С. П., Отряскин Д. А., Саприцкий В. И., Хлевной Б. Б. Государственный первичный эталон величин абсолютной и относительной спектральной чувствительности в диапазоне длин волн от 0,25 до 14,00 мкм ГЭТ 213–2014 // Измерительная техника. 2015. № 11. С. 15–18.

Дата принятия: 07.08.2018.

National primary standard for the units of radiometric and spectroradiometric values at wavelengths from 0,2 to 25,0 μm GET 86–2017

V. R. Gavrilov, I. A. Grigor'eva, E. A. Ivashin, D. A. Otryaskin, M. V. Solodilov, E. V. Solodilov, B. B. Khlevnoy, V. I. Sapritsky, M. N. Pavlovitch

The All-Russian Research Institute for Optical and Physical Measurements, Moscow, Russia, e-mail: gavrilov@vniiofi.ru

The composition and the metrological characteristics of the State primary measurement standard of units of radiometric and spectroradiometric quantities in the wavelength range from 0,2 to 14,0 μm are presented. The technical characteristics and principles of operation for the following new standard facilities, created as a result of improvement of the measurement standard, are described: a set of optical radiators in the form of high-temperature blackbody models based on phase transitions of metal-carbon compounds of cobalt, rhenium and tungsten, a facility based on goniometer and spectroradiometer for the total spectral radiant flux scale realization and dissemination, a diffuse monochromatic radiation source with a tunable wavelength based on «white laser», monochromator and integrating sphere for realization and dissemination of scales of irradiance and radiance.

Key words: thermodynamic temperature, high-temperature fixed point, radiance, irradiance, spectral radiance, spectral radiant intensity, spectral irradiance, total spectral radiant flux.