

## ОБРАЗЦОВЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ ДЛЯ ПАСПОРТИЗАЦИИ СЕНСОРОВ

Г. Г. ИШАНИН, Н. И. ФАСТОВА

*Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: fastova.nata@yandex.ru*

Рассматриваются образцовые излучатели типа „черное тело“, предназначенные для паспортизации различных приборов оптического излучения, в том числе сенсоров и приемников излучения. Описывается методика измерения температуры таких излучателей.

**Ключевые слова:** черное тело, коэффициент теплового излучения, термостабилизация.

**Введение.** Черное тело (ЧТ) является эталонным источником потока излучения, так как спектральная плотность его энергетической светимости может быть рассчитана теоретически по формуле Планка с любой степенью точности [1]:

$$M_{e\lambda T}(\lambda T) = C_1 \lambda^{-5} (e^{c_2/\lambda T} - 1)^{-1}, \quad (1)$$

где  $T$  — абсолютная температура ЧТ;  $C_1 = 3,7413 \cdot 10^{-6}$  Вт·м<sup>2</sup>;  $c_2 = (1,4388 \pm 0,0007) \cdot 10^{-2}$  м·К.

Энергетическая светимость ЧТ  $M_{eT}^0$  в соответствии с законом Стефана — Больцмана пропорциональна четвертой степени его абсолютной температуры:

$$M_{eT}^0 = \sigma T^4, \quad (2)$$

где  $\sigma = (5,667032 \pm 0,0007) \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>) — постоянная излучения Стефана — Больцмана.

Учитывая, что черное тело одновременно с излучением поглощает и энергию падающего на него излучения окружающей среды, закон Стефана — Больцмана следует записать как [1]

$$M_{eT}^0 = \sigma (T^4 - T_{\phi}^4), \quad (3)$$

где  $T_{\phi}$  — температура окружающей среды.

Следовательно, для уменьшения погрешности паспортизации приборов оптического излучения необходима стабилизация температуры ЧТ, что позволяет создать постоянный поток излучения (сигнала) для паспортизации, в частности, приемников излучения и оптико-электронных приборов.

**Теоретический расчет эффективного коэффициента теплового излучения конуса.** В природе абсолютных черных тел не существует. Однако искусственно удастся создать излучатели, свойства которых приближены к свойствам ЧТ. Хорошие результаты достигаются при изготовлении ЧТ на основе конуса с углом  $\phi$  при вершине, меньшим или равным 15°. Если коэффициент излучения материала конуса  $\varepsilon = 0,7 \dots 0,75$  и  $\phi = 5^\circ$ , то значение эффективного коэффициента излучения ЧТ будет равно примерно 1 (0,998) [1].

Эффективный коэффициент теплового излучения материала поверхности конуса рассчитывается по следующей приближенной формуле [1]:

$$\varepsilon_{\phi} = 1 - \rho \frac{D^2 / 4l^2}{1 + D^2 / 4l^2}, \quad (4)$$

где  $D$  и  $l$  — выходной диаметр и длина поверхности конуса соответственно;  $\rho$  — коэффициент отражения излучения поверхностью конуса.

Рассчитанные значения эффективного коэффициента теплового излучения материала поверхности конуса при различных отношениях  $l/D$  и значениях коэффициента  $\rho$  приведены в табл. 1 [1].

Таблица 1

$l/D$	$\epsilon_{\text{эф}}$ при $\rho$			$l/D$	$\epsilon_{\text{эф}}$ при $\rho$		
	0,5	0,75	0,9		0,5	0,75	0,9
0,25	0,6	0,8	0,92	2	0,970	0,985	0,994
0,5	0,75	0,875	0,95	3	0,986	0,993	0,997
1,0	0,9	0,950	0,98	4	0,992	0,996	0,998

**Образцовые излучатели типа „черное тело“.** На кафедре оптико-электронных приборов и систем Университета ИТМО разработаны образцовые охлаждаемые водой инфракрасные излучатели типа ИКИ-2-2, состоящие из трех отдельных блоков. На рис. 1 показан общий вид излучателя ИКИ-2-2, где 1 — охлаждаемый термостабилизированной водой излучатель из огнеупорной керамики, работающий в диапазоне температур  $T = 600 \dots 1200$  °С; 2 — охлаждаемый излучатель из красной меди, работающий при  $T = 50 \dots 100$  °С; 3 — блок управления температурой излучателей 1, 2 и ее стабилизацией.

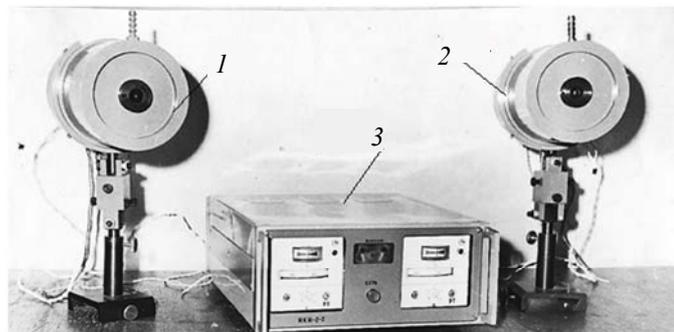


Рис. 1

Конструкция излучателя ИКИ-2-2 из красной меди (см. рис. 1, поз. 2) представлена на рис. 2, где 1 — излучатель; 2 — диафрагма; 3 — термопары; 4 — канавки для охлаждения ЧТ; 5 — изоляция (из слюды); 6 — термостабилизирующая обмотка.

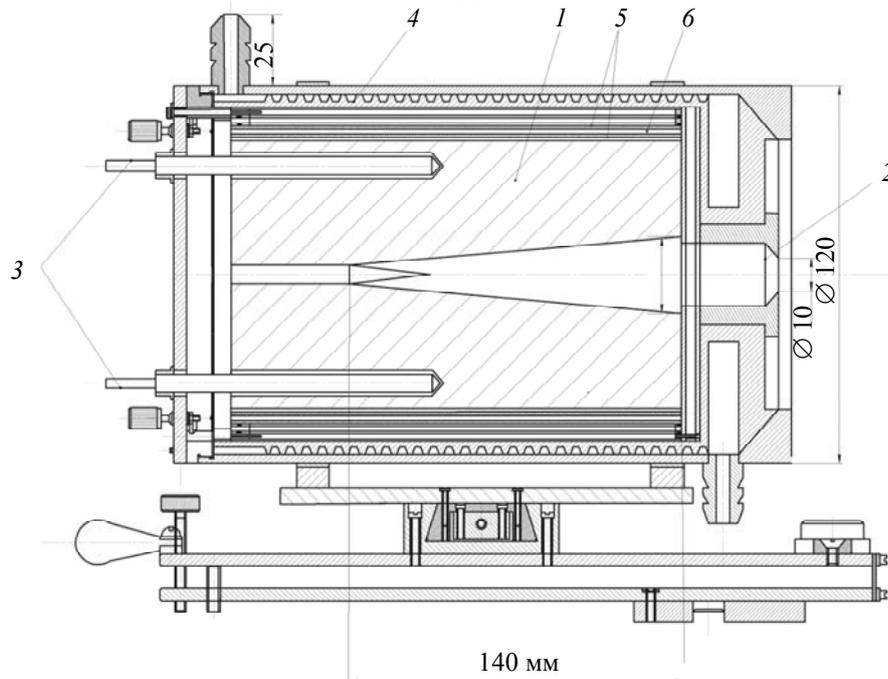


Рис. 2

Основу ЧТ составляет прямой обратный конус, длина которого подбирается экспериментально. Нагревательная спираль с переменным шагом позволяет поддерживать постоянную температуру по всей длине черного тела: на концах спирали, где теплоотвод в атмосферу повышен, ее шаг меньше [2].

Коэффициент теплового излучения материала конуса для ИКИ-2-2 рассчитывается согласно формуле (4) и табл. 1:

$$\varepsilon_{\text{эф}} = 1 - 0,99 \frac{12^2 / 4 \cdot 140^2}{1 + 12^2 / 4 \cdot 140^2} \approx 0,998.$$

Излучатель ТСИД-100, содержащий термостабилизированные излучатель 4 и диафрагму 3, представлен на рис. 3. Для стабилизации температуры излучателя и диафрагмы используются термоэлектрические элементы на эффекте Пельтье. Блоки 1 и 2 управляют нагреванием и охлаждением черного тела и вырабатывают команды на стабилизацию установленной на индикаторе температуры [2]. Термостабилизированная диафрагма, расположенная в непосредственной близости от торца ЧТ, имеет свой индикатор температуры (20—35 °С), устанавливаемой в зависимости от температуры окружающей среды.

Все излучатели снабжены набором сменных диафрагм с диаметром отверстий от 1 до 10 мм.

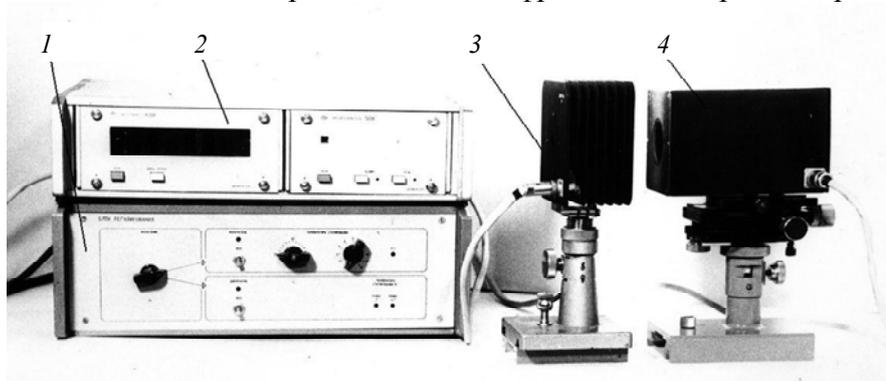


Рис. 3

Представленные излучатели типа „черное тело“ изготовлены на экспериментальном опытном заводе Университета ИТМО для испытательного полигона Филиала Государственного оптического института им. С. И. Вавилова (Санкт-Петербург). Все излучатели прошли проверку по государственному эталону во Всероссийском НИИ метрологии (Санкт-Петербург).

**Эксперимент.** В ходе эксперимента требовалось проверить результаты термостабилизации излучателя ( $T_1$ ) по высокоточному цифровому термометру первого класса ДТ-610В с погрешностью измерения 0,010 °С, а также проверить правильность показаний температуры по встроенной шкале излучателя ( $T_2$ ). Результаты сравнительного анализа температур  $T_1$  и  $T_2$  в зависимости от времени  $t$  наблюдения представлены на рис. 4 и в табл. 2.

Для того чтобы измерить температуру полости излучателя (см. рис. 3, поз. 4), необходимо нанести небольшое количество теплопроводящей пасты (КПТ-8) на термопару и через отверстие в корпусе присоединить термопару к поверхности излучателя. Такая паста обычно применяется для обеспечения эффективного теплового контакта между тепловыделяющими элементами электронной схемы и радиатором (теплоотводом).

Погрешность измерения температуры по шкале прибора в режиме стабилизации относительно температуры образцового излучателя составила

$$\Delta\delta = \frac{T_2 - T_1}{T_1} = \left| \frac{91 - 94}{94} \right| \cdot 100\% \approx 3\%.$$

Столь большая погрешность объясняется близким расположением термопар к термостабилизирующей обмотке, которая работает поочередно на нагревание и на охлаждение.

Погрешность установки и измерения температуры  $T_1$  составляет 0,01 %. Для более точного измерения температуры излучателя следует располагать термопары непосредственно на поверхности полости излучателя.

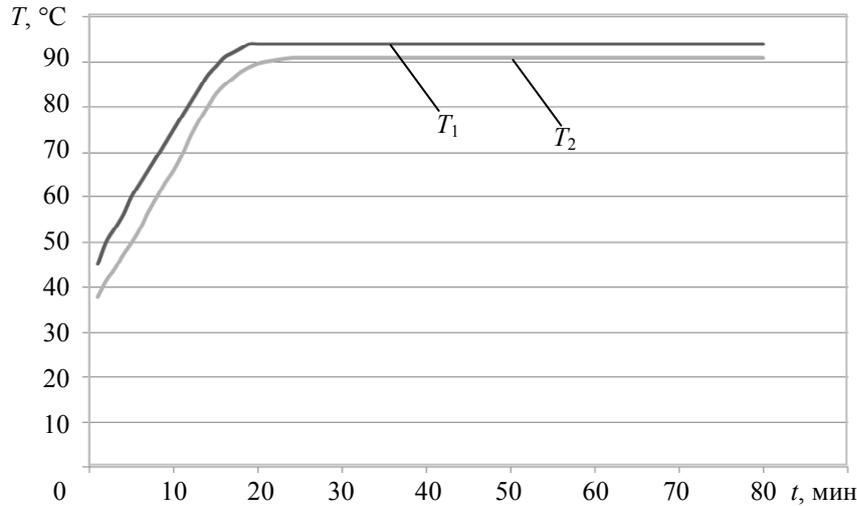


Рис. 4

Таблица 2

$t$ , мин	$T_1$ , °C	$T_2$ , °C	$t$ , мин	$T_1$ , °C	$T_2$ , °C
1	45	38	14	86	80
2	51	41,5	15	89	83
3	54	44	16	91	85
4	57	47,2	17	92	86,5
5	60	49,9	18	92	88
6	63	53	19	93	89
7	66	56,8	20	94	89,8
8	69	60	21	94	90,2
9	72	63,3	22	94	90,5
10	75	66	23	94	90,8
11	78	69,5	24	94	91
12	81	73,6	⋮	⋮	⋮
13	84	77	80	94	91

При введении поправки на температуру по шкале ДТ-610В (0,01 %) погрешность определения энергетической светимости излучателя ТСИД-100 составила менее 0,01 %. Выход ТСИД-100 на режим стабилизации излучения происходит через 20 мин.

Погрешность установки и измерения температуры по внутренней шкале блока регистрации излучателя ТСИД-100 для всего диапазона измерений ( $X$ ) рассчитывается по среднему значению температуры  $T_2$ :

$$T_{2cp} = \sum X_i / N = 80,9917$$

и СКО

$$\sigma = \sqrt{\sum (X_i - T_{2cp})^2 / N} = 19,8494,$$

где индекс „ $i$ “ соответствует моменту времени измерения,  $N$  — количество сеансов измерений; тогда средняя погрешность составляет

$$\Delta\sigma = \sigma / \sqrt{N} = 2,87.$$

**Заключение.** Представлена методика измерения температуры разработанных в Университете ИТМО образцовых излучателей типа „черное тело“, предназначенных для паспортизации различных приборов оптического излучения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ишанин Г. Г., Козлов В. В. Источники оптического излучения: Учеб. пособие. СПб: Политехника, 2009. 415 с.
2. Хребтова В. П., Фастова Н. И. Анализ черных тел различных модификаций // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. СПб: Ун-т ИТМО, 2014. С. 415—417.

**Сведения об авторах**

- Геннадий Григорьевич Ишанин** — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО; кафедра оптико-электронных приборов и систем; E-mail: Ishanin@mail.ru
- Наталья Игоревна Фастова** — студентка; Университет ИТМО; кафедра оптико-электронных приборов и систем; E-mail: fastova.nata@yandex.ru

Рекомендована кафедрой  
оптико-электронных приборов и систем

Поступила в редакцию  
17.04.15 г.

**Ссылка для цитирования:** Ишанин Г. Г., Фастова Н. И. Образцовые излучатели для паспортизации сенсоров // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 7. С. 550—554.

**STANDARD EMITTERS FOR CERTIFICATION OF SENSORS**

**G. G. Ishanin, N. I. Fastova**

*ITMO University, 197101, Saint Petersburg, Russia*  
*E-mail: fastova.nata@yandex.ru*

Standard emitters of the black body type designed for certification of various optical instruments including sensors and detectors of radiation are considered. A method of measuring temperature of the emitters is described.

**Keywords:** black body, emissivity, heat setting.

**Data on authors**

- Gennady G. Ishanin** — Dr. Sci., Professor; ITMO University, Department of Optical-Electronic Devices and Systems; E-mail: Ishanin@mail.ru
- Natalia I. Fastova** — Student; ITMO University, Department of Optical-Electronic Devices and Systems; E-mail: fastova.nata@yandex.ru

**Reference for citation:** *hanin G. G., Fastiva N. I.* Standard emitters for certification of sensors // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroyeniye*. 2015. Vol. 58, N 7. P. 550—554 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-7-550-554