

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ГЦИ СИ ФГУП  
«ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»



Н.И. Ханов

2014 г.

**ИЗМЕРИТЕЛЬ ТЕПЛОВОЙ (ИНФРАКРАСНОЙ) ОБЛУЧЁННОСТИ  
«ТКА – ИТО»**

**МЕТОДИКА ПОВЕРКИ**

**МП 2411 0105 – 2014**

Руководитель отдела Государственных эталонов  
и научных исследований в области  
теплофизических и температурных измерений  
ГЦИ СИ ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»

А.И. Походун

Санкт – Петербург  
2014

**ВВЕДЕНИЕ**

Настоящая методика распространяется на приборы "ТКА-ИТО", предназначенные для измерения интенсивности теплового (инфракрасного) облучения (поверхностной плотности потока излучения – энергетической освещенности или облученности).

Методика устанавливает объем, условия поверки, методы и средства их первичной поверки при выпуске из производства, после ремонта и периодической поверки в процессе эксплуатации, а также порядок оформления результатов поверки.

Интервал между поверками - 2 года.

**1 ОПЕРАЦИИ ПОВЕРКИ**

1.1 При проведении поверки должны выполняться операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1

Наименование операции	№ пункта методики	Наименование образцового средства измерений или вспомогательного средства поверки, их характеристики	Обязательность проведения при поверке	
			первичной	периодической
1	2	3	4	5
Внешний осмотр	4.1	Визуально	Да	Да
Опробование	4.2		Да	Да
Подтверждение соответствия программного обеспечения	4.3	Визуально	Да	Да
Определение метрологических характеристик	4.4	- калибратор температуры инфракрасный Fluke-4181, диапазон температуры от 100 °С до 500 °С, предел погрешности $(0,004 \cdot t_{\text{воспр.}} + 0,5)$ , °С;  Фотометрическая скамья (или линейка металлическая) от 0 до 1000 мм по ГОСТ 427 – 75), погрешность 1 мм.	Да	Да

Примечание: Допускается применение других средств поверки, имеющих метрологические характеристики, не хуже приведенных в таблице.

1.2 Указанные средства поверки должны иметь действующие документы о поверке или аттестации.

1.3 Работа с указанными средствами измерений должна проводиться в соответствии с документацией по их эксплуатации.

## 2 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

При проведении поверки необходимо соблюдать требования «Правил технической эксплуатации установок потребителей», 1986 г. и «Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», утвержденные Госэнергонадзором.

Поверку могут производить операторы, имеющие группу по электробезопасности не ниже I I 1, а также прошедшие инструктаж на рабочем месте по безопасности труда.

## 3 УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ И ПОДГОТОВКА К НЕЙ

3.1 При проведении поверки должны быть соблюдены условия эксплуатации эталонных средств измерения, а также следующие условия эксплуатации поверяемых приборов «ТКА-ИТО»:

Температура окружающей среды, °С..... (20 ± 10);  
Атмосферное давление, кПа ..... (90,6 - 104,8);  
Относительная влажность, % ..... (30 - 80).

Внешние электрические и магнитные поля должны находиться в пределах, не влияющих на работу прибора.

Следует обеспечить отсутствие конвективных потоков воздуха вокруг блока черного шара. При необходимости следует установить ограждающие щитки, шторы и т.п.

3.2 Перед проведением поверки должны быть выполнены следующие подготовительные работы:

3.2.1 Проверка наличия паспортов, свидетельств поверки (аттестации) метрологическими органами всех средств поверки.

3.2.2 Подготовка средств поверки к работе по соответствующим эксплуатационным документам.

3.2.3. Подготовка к работе поверяемого прибора в соответствии с руководством по эксплуатации.

## 4 ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ

### 4.1 Внешний осмотр.

При проведении внешнего осмотра необходимо убедиться в:

- целостности прибора (отсутствие трещин или вмятин на корпусе, сохранность соединительных кабелей);
- соответствии комплектности, маркировки, упаковки требованиям, указанным в эксплуатационной документации;
- чёткости надписей на лицевых панелях.

Прибор считается выдержавшим внешний осмотр удовлетворительно, если он соответствует перечисленным выше требованиям.

### 4.2 Проверка работы (опробование).

Включить прибор и проверить индикацию символов на дисплее и работоспособность элементов управления. При этом необходимо убедиться, что на жидкокристаллическом цифровом индикаторе прибора отображается информация о рабочих режимах прибора, батарея заряжена, при этом символ разряда батареи не должен отображаться на табло прибора.

### 4.3 Подтверждение соответствия программного обеспечения

Идентификация ПО осуществляется при включении - на экране отображается версия ПО.

Результат проверки считается положительным, если номер версии ПО не ниже, указанного в описании типа.

#### 4.4 Определение метрологических характеристик.

Определение диапазона и абсолютной погрешности измерения облучённости следует проводить по таблице 1 путём измерения определённых значений облучённости, задаваемых температурой излучателя и расстоянием до него, в соответствии с таблицей 2.

Допускаемые пределы абсолютной погрешности измерения  $\Delta E$  рассчитывают по формуле:

$$\Delta E = \pm (2 + 0,08 \cdot E) [\text{Вт/м}^2];$$

где:  $E$  – значения облучённости, рассчитанные по данным значениям температуры эталонного излучателя и расстояний от плоскости излучателя до центра сферы.

Таблица 2

Температура эталонного излучателя	$T_{\text{эл}}, [^{\circ}\text{C}]$	-	150	500	500	500	500
Расстояние от плоскости излучателя до центра чёрного шара поверяемого прибора	$L, [\text{мм}]$	-	1000	350	250	2009	160
Задаваемые расчетные значения облучённости*	$E, [\text{Вт/м}^2]$	0 (фон)	10	896	1658	2439	3499
Пределы допускаемой погрешности измерения	$\Delta E_{\text{д}}, [\text{Вт/м}^2]$	$\pm 2$	$\pm 2,8$	$\pm 74$	$\pm 135$	$\pm 197$	$\pm 282$

*Примечание:* При использовании излучателя, отличного от рекомендуемого в таблице 1, облучённость рассчитывается, исходя из размера площади излучателя, его температуры и расстояния до центра черного шара. Значения облучённости и погрешность её воспроизведения вычисляются по формулам, приведенным в Приложении 2.

4.4.1 Включить эталонный излучатель и согласно его инструкции по эксплуатации устанавливать температуру излучающей поверхности в соответствии с таблицей 2.

4.4.2 Закрыв излучение от попадания на черный шар непрозрачной шторкой, зарегистрировать показания прибора, соответствующие фоновой облучённости ( $E = 0$ ).

4.4.3 Последовательно устанавливать чёрный шар испытуемого прибора на расстояниях, указанных в таблице 2, и регистрировать показания прибора в этих точках, выдерживая время установления показаний, указанное в паспорте прибора. Расстояния должны отсчитываться с точностью  $\pm 0,5$  мм от цветной метки на диаметре сферы до плоскости эталонного излучателя.

С целью устранения влияния от неоднородности покрытия сферы, в каждой точке проводить по 3 измерения с поворотом сферы на произвольный угол, обеспечивающий попадание излучения на разные участки сферы. Вычислить среднее значение показаний прибора  $E_{\text{ср}}$ . Максимальное отклонение показаний от среднего значения не должно превышать допускаемую абсолютную погрешность.

4.4.4. Определить абсолютную погрешность  $\Delta E$  во всех точках измерений по формуле:

$$\Delta E = E_{cp} - E_t$$

где:  $E_t$  – расчётное значение облучённости в точке;

$E_{cp}$  – среднее значение показаний испытуемого прибора в той же точке.

Прибор считается выдержавшим поверку, если значения погрешности  $\Delta E$  в каждой точке, включая  $E = 0$  (фон), находятся в пределах допускаемых значений погрешности  $\Delta E_0$ , указанных в таблице 2.

4.4.5 Если при проведении той или иной операции поверки получен отрицательный результат, дальнейшая поверка прекращается.

## 6. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

6.1 Результаты поверки вносятся в протокол, форма которого приведена в Приложении 1.

6.2 Положительные результаты поверки оформляются свидетельством установленной формы, сведения о поверке заносятся в соответствующий раздел паспорта.

6.3 При отрицательных результатах поверки измерителя тепловой (инфракрасной) облучённости, он признается непригодным к применению, на него выдается “Извещение о непригодности” с указанием причин непригодности и ликвидируется предыдущее свидетельство.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1  
Рекомендуемое

Дата \_\_\_\_\_

**ПРОТОКОЛ**Прибор \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_,  
представленный \_\_\_\_\_.

Место проведения поверки \_\_\_\_\_

Метод поверки: МП 2411 – 0105 - 2014 «Измерители тепловой (инфракрасной) облучённости «ТКА – ИТО». Методика поверки».

Значения влияющих факторов:

Температура окружающей среды	_____ °С
Относительная влажность	_____ %
Атмосферное давление	_____ кПа

Поверка проведена с применением эталонов:

Результаты внешнего осмотра: \_\_\_\_\_

Подтверждение соответствия ПО, версия: \_\_\_\_\_

Таблица результатов поверки:

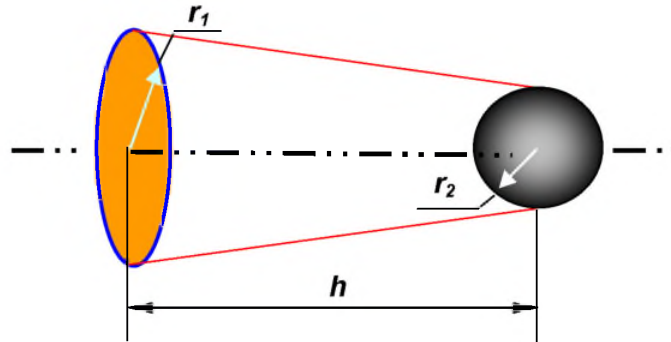
Определяемый компонент, параметр	Температура эталонного излучателя	Расстояние до эталонного излучателя	Расчетная интенсивность теплового облучения	Пределы допускаемой абсолютной погрешности	Показания поверяемого прибора	Значение погрешности, полученное при поверке
	[°С]	[мм]	[Вт/ м <sup>2</sup> ]	[Вт/ м <sup>2</sup> ]	[Вт/ м <sup>2</sup> ]	[Вт/ м <sup>2</sup> ]
	-	-	0 (фон)	± 2		
<b>Интенсивность теплового облучения (облученность)</b>	150	1000	10	± 3		
	500	350	896	± 74		
	500	250	1658	± 135		
	500	200	2439	± 197		
	500	160	3499	± 282		

Заключение \_\_\_\_\_

Поверку проводил \_\_\_\_\_

**РАСЧЕТ**

плотности потока излучения (облученности) сферы,  
создаваемой круглым плоским излучателем АЧТ



1 – Плоский излучатель – диск АЧТ    2 – Сферический приемник излучения

В соответствии с законом Стефана-Больцмана часть потока, излучаемого плоским диском с радиусом  $r_1$ , попадает на поверхность сферы радиуса  $r_2$ , находящейся на расстоянии  $h$ , и определяется по формуле:

$$\Phi_{1 \rightarrow 2} = \sigma T_1^4 A_1 F_{1 \rightarrow 2} \quad (1),$$

где:  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана

$$\sigma = (5,670373 \pm 0,000042) \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}; \quad u(\sigma) = \pm 3,6 \cdot 10^{-6};$$

$T_1$  – температура излучателя АЧТ, К;

$A_1$  – площадь излучающей поверхности:  $A_1 = \pi r^2$ ;

$F_{1 \rightarrow 2}$  – угловой коэффициент, определяемый геометрией расположения и размерами объектов 1 и 2 (излучения  $\rightarrow$ поглощения; в данном случае: 1 – диск с радиусом  $r_1$ ; 2 – сфера с радиусом  $r_2$  на расстоянии  $h$ ):

$$F_{1 \rightarrow 2} = \frac{1}{2} \left( X - \sqrt{X^2 - 4 \frac{r_2^2}{r_1^2}} \right) \quad (2),$$

где:

$$X = 1 + \frac{h^2}{r_1^2} + \frac{r_2^2}{r_1^2} \quad (3),$$

Источник: R. Siegel and R. D. Howell, Thermal Radiation Heat Transfer, 4<sup>th</sup> ed. (Taylor & Francis, New York – London 2002), p. 849

Тогда облученность на поверхности сферы, коаксиально расположенной на расстоянии  $h$  между ее центром и плоскостью поверхности диска излучателя АЧТ составляет:

$$E_2 = \frac{\Phi_{1 \rightarrow 2}}{\pi r_2^2} = \sigma T_1^4 \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2 F_{1 \rightarrow 2} \quad (4)$$

Неопределенность рассчитанного значения облученности  $u_c(E)$  определяется в соответствии с "Руководством по выражению неопределенности измерения"<sup>1</sup>, учитывая составляющие неопределенности  $u(T)$ ,  $u(r_1)$ ,  $u(r_2)$ ,  $u(h)$ ,  $u_c(F_{1 \rightarrow 2})$  и  $u_c(X)$ , входящих в формулы (1-4) переменных  $T$ ,  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $h$ ,  $F_{1 \rightarrow 2}$  и  $X$ , соответственно:

$$u_c(E) = E \sqrt{\left(4 \frac{u(T)}{T}\right)^2 + \frac{1}{\pi^2} \left[ \left(\frac{u(r_1)}{r_1}\right)^2 + \left(\frac{u(r_2)}{r_2}\right)^2 \right] + \left(\frac{u(F)}{F}\right)^2} \quad (5)$$

где:

$$u_c^2(F_{1 \rightarrow 2}) = \frac{\frac{1}{4} \left( \sqrt{X^2 - 4 \frac{r_2^2}{r_1^2}} - X \right)^2 u^2(X) + 4 \frac{r_2^4}{r_1^4} \left[ \left(\frac{u(r_1)}{r_1}\right)^2 + \left(\frac{u(r_2)}{r_2}\right)^2 \right]}{X^2 - 4 \frac{r_2^2}{r_1^2}} \quad (6)$$

$$u_c^2(X) = \frac{4}{r_1^4} \left[ h^2 u^2(h) + \left( \frac{h^2 + r_2^2}{r_1} \right)^2 u^2(r_1) + r_2^2 u^2(r_2) \right] \quad (7)$$

Пример расчета по формулам (1 – 7) приведен на следующей странице

<sup>1</sup> Руководство по выражению неопределенности измерения: Перевод с англ. под. ред. В.А. Слаева - ГП "ВНИИМ им. Д. И. Менделеева", С.-Петербург, 1999. - 134 с.



**ПРИМЕР РАСЧЕТА ПО ФОРМУЛАМ (1 – 7)**

$$r_1 = 7,6 \text{ см}; \quad u(r_1) = 0,1 \text{ см};$$

$$r_2 = 5,0 \text{ см}; \quad u(r_2) = 0,1 \text{ см}$$

$T_{\text{АЧТ}}$	$u(T)$	$h$	$u(h)$	$X$	$u(X)$	$F_{1-2}$	$u(F_{1-2})$	$E_{\text{Сферы}}$	$u(E_{\text{Сферы}})$
°С	°С	см	см	-	-	-	-	Вт/м <sup>2</sup>	Вт/м <sup>2</sup>
<b>150</b>	<b>1,1</b>	<b>100,0</b>	<b>0,1</b>	<i>174,56</i>	<i>4,6</i>	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	<b>10,0</b>	<b>0,6</b>
<b>300</b>	<b>1,7</b>	<b>82,0</b>	<b>0,1</b>	<i>117,85</i>	<i>3,1</i>	$3,7 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	<b>51,9</b>	<b>2,9</b>
<b>500</b>	<b>2,5</b>	<b>67,0</b>	<b>0,1</b>	<i>79,15</i>	<i>2,1</i>	$5,5 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	<b>256,0</b>	<b>19,9</b>
<b>500</b>	<b>2,5</b>	<b>47,0</b>	<b>0,1</b>	<i>39,68</i>	<i>1,0</i>	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$5,9 \cdot 10^{-4}$	<b>510,8</b>	<b>50,6</b>
<b>500</b>	<b>2,5</b>	<b>33,0</b>	<b>0,1</b>	<i>20,29</i>	<i>0,5</i>	$2,1 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	<b>999,8</b>	<b>93,4</b>
<b>500</b>	<b>2,5</b>	<b>16,0</b>	<b>0,1</b>	<i>5,86</i>	<i>0,1</i>	$7,5 \cdot 10^{-2}$	$4,1 \cdot 10^{-3}$	<b>3499,2</b>	<b>137,4</b>