

ПРИМЕР РАСЧЕТА ПО ФОРМУЛАМ (1-7)

$r_1 = 7,6 \text{ см};$
 $r_2 = 5,0 \text{ см};$

$u(r_1) = 0,1 \text{ см};$
 $u(r_2) = 0,1 \text{ см}.$

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



ЦИКЛОН-ПРИБОР

ciklon-pribor.ru

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**



ЦИКЛОН-ПРИБОР

ciklon-pribor.ru

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 быть выполнены 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.



ЦИКЛОН-ПРИБОР

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 111, 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, °C (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, шторки 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 ΔE рассчитывают по формуле:

$$\Delta E = \pm (2 + 0,08 \cdot E) [Bm/m^2];$$

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

Таблица 2

Температура эталонного излучателя	$T_{эл}, ^\circ\text{C}$	–	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	$\Delta E_d, \text{Вт/м}^2$	± 2	$\pm 2,8$	± 74	± 135	± 197	± 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 облученности ($E = 0$).

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 $\pm 0,5 \text{ мм}$ от цветной метки на диаметре сферы до плоскости эталонного излучателя.

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

4.4.4 Определить абсолютную погрешность ΔE 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 ΔE в каждой точке, включая $E = 0$ (фон), находятся в пределах допускаемых значений погрешности ΔE_d , указанных в Таблице 2.

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

5 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

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

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

5.3 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 _____ °C

Относительная влажность _____ %

Атмосферное давление _____ кПа

Поверка проведена с применением эталонов: _____

Результаты внешнего осмотра: _____

Подтверждение соответствия ПО, версия: _____

ЦИКЛОН-ПРИБОР

Таблица результатов поверки:

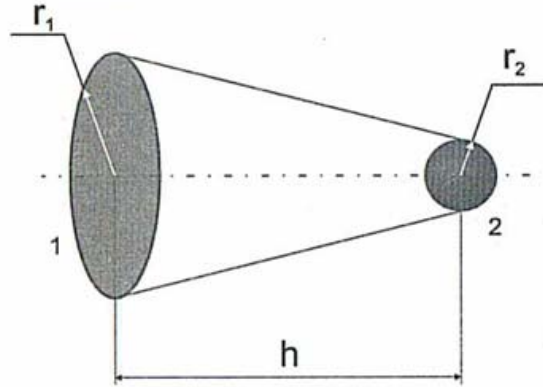
Определяемый компонент, параметр	Температура эталонного излучателя	Расстояние до эталонного излучателя	Расчетная интенсивность теплового облучения	Пределы допускаемой абсолютной погрешности	Показания поверяемого прибора	Значение погрешности, полученное при поверке
	[°C]	[мм]	[Вт/ м ²]	[Вт/ м ²]	[Вт/ м ²]	[Вт/ м ²]
Интенсивность теплового облучения (облученность)	-	-	0 (фон)	± 2		
	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:

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

где: σ – постоянная Стефана-Больцмана
 $\sigma = (5,670373 \pm 0,000042) \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$; $u(\sigma) = \pm 3,6 \cdot 10^{-6}$;

T_1 – температура излучателя АЧТ, К;

A_1 – площадь излучающей поверхности: $A_1 = \pi \cdot r_1^2$;

$F_{1 \rightarrow 2}$ – угловой коэффициент, определяемый геометрией расположения и размерами объектов 1 и 2 (излучения → 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*, 4th 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”¹, 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:

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

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

¹ Руководство по выражению неопределенности измерения: Перевод с англ. под ред. В.А. Слава - ГП “ВНИИМ им. Д. И. Менделеева”, С.-Петербург, 1999. - 134 с.