



# Электронно-оптический тестер как средство калибровки пирометрических преобразователей изображения

**А. С. Бугаев**

Пензенский государственный университет, Россия, 440026 г. Пенза, ул. Красная, 40

**Р. А. Лемаев**

АО «НПП «Рубин», Россия, 440000 г. Пенза, ул. Байдукова, 2

**Аннотация.** Рассмотрен электронно-оптический тестер как средство калибровки пирометрических преобразователей изображения, осуществляющий параметры тепловизоров, которые могут применяться при разработке методик их калибровки и при разработке методик испытаний других оптических приборов.

**Ключевые слова:** электронно-оптический тестер, тепловизор, калибровка, пирометрический преобразователь, угол поля зрения, температура.

## An electron-optical tester as a means for calibration of pyrometric image converters

**A. S. Bugaev**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, 440026, Penza, Russia

**R. A. Lemaev**

JSC SPE Rubin, 2 Baydukov Street, 440026, Penza, Russia

**Abstract.** An electron-optical tester as a means for calibration of pyrometric image converters is considered. It carries out the parameters of thermal imagers, which can be used in the development of methods for their calibration, and in the development of methods for testing of other optical devices.

**Key words:** electron-optical tester, thermal imager, calibration, pyrometric converter, field of view angle, temperature.

В последнее время на отечественном рынке стали предлагаться электронно-оптические тестеры, которые совместно с программным обеспечением осуществляют испытания оптических приборов, включают в себя широкую библиотеку тестовых алгоритмов для поддержки испытаний оптических приборов, обеспечивают гибкость работы пользователя без необходимости программирования, помогают уменьшить время при разработке и обслуживании испытываемого оборудования, обеспечивают выполнение одним пользователем всех операций по разработке, отладке и производству оптических приборов, имеют модульную структуру, что позволяет добавлять необходимые компоненты. Внешний вид одного из таких оптических тестеров приведен на рис. 1.

Такие устройства можно применять в качестве средств калибровки оптико-электронных средств измерений, таких как пирометрические преобразователи изображений (тепловизоры). Про-

слеживаемость к государственным первичным эталонам по ГОСТ Р 8.558–2009 электронно-оптического тестера производится посредством калибровки черного тела, входящего в его состав.



Рис. 1. Оптический тестер

Пирометрические преобразователи изображения предназначены для неконтактных измерений пространственного распределения температуры поверхностей объектов по их собственному тепловому излучению и отображению этого распределения на экране. Тепловизоры являются оптико-электронными измерительными приборами, принцип действия которых основан на фиксировании инфракрасного электромагнитного излучения, исходящего от каждого нагретого объекта, которое, проходя через оптическую систему, фокусируется на приемник и далее преобразуется в цифровой сигнал. Цифровой сигнал после обработки отображается в виде термограммы.

В процессе калибровки тепловизора помимо основных метрологических характеристик, таких как диапазон измерений и погрешность измерений температуры, необходимо определить ряд дополнительных параметров, например: угол поля зрения тепловизора по горизонтали и по вертикали, температурную чувствительность (разность температур эквивалентную шуму) и др. Для обеспечения всех этих проверок других средств калибровки, кроме электронно-оптического тестера, не требуется [1].

Определение действительных значений абсолютной и относительной погрешности измерений температуры тепловизора во всем диапазоне измерений с помощью электронно-оптического тестера проводится следующим образом. Излучающая головка тестера совмещается с центральной областью термограммы. Измерения проводятся на расстоянии между источником излучения в виде абсолютно черного тела (АЧТ) и тепловизором, обеспечивающем перекрытие апертурой излучателя не менее 20 % угла поля зрения тепловизора. Как правило, это расстояние должно быть не менее 0,3 м.

Погрешность тепловизора определяется не менее чем в пяти точках диапазона измерений температуры (нижняя, верхняя и три точки внутри диапазона). После установления стационарного режима эталонного излучателя на каждой температуре тепловизором не менее пяти раз необходимо измерить температуру, задаваемую излучающей головкой коллиматора. После этого определяем среднее значение температуры АЧТ по термограмме тепловизора  $t_i$  (°C) с учетом его излучательной способности и температуры фона.

Действительное значение абсолютной погрешности  $A_t$  измерений температуры рассчитывается по формуле

$$A_t = t_i - t_o,$$

где  $t_i$  – среднее значение температуры по области, ограничивающей изображение апертуры излучателя на термограмме, °C;  $t_o$  – среднее значение температуры АЧТ, °C.

Действительное значение относительной погрешности определяется по формуле

$$\delta = \frac{t_i - t_o}{t_o} \cdot 100 \%,$$

где  $t_i$  – среднее значение температуры по области, ограничивающей изображение апертуры излучателя на термограмме, °С;  $t_o$  – среднее значение температуры АЧТ, °С.

Еще одним параметром тепловизора, который можно определить с помощью электронно-оптического тестера, является угол поля зрения. В состав коллиматора входят тепловые тест-объекты, так называемые штриховые миры. Миры располагаются на главной оптической оси коллиматора перед излучателем АЧТ, на расстоянии от 10 до 30 мм и проецируются на испытуемое устройство. Для определения угла поля зрения тепловизора необходимо выбрать тепловой тест-объект с переменной щелью.

Для данного испытания режим работы тепловизора должен обеспечивать максимальную его чувствительность. Необходимо добиться совмещения изображения центра теплового тест-объекта с центральной областью термограммы. При этом в тепловом тест-объекте устанавливается максимальная ширина щели и измеряется максимальная температура щели в термограмме тепловизора.

В качестве рабочего расстояния ( $R$ ) выбирается максимальное расстояние между объективом тепловизора и тепловым тест-объектом с переменной щелью, которое обеспечивает максимальное значение температуры щели в термограмме при полном раскрытии щели.

Угол поля зрения можно определить двумя способами. Первый способ заключается в следующем. Тепловизор устанавливается на поворотном столике, обеспечивающем возможность поворота и регистрации угла поворота столика относительно неподвижного основания в двух плоскостях, так, чтобы ось вращения совпадала с вертикальной плоскостью, проходящей через переднюю поверхность входного объектива тепловизора.

Необходимо выставить температуру излучателя АЧТ выше температуры окружающей среды на 10 °С. Перед излучателем, на расстоянии от 10 до 30 мм, располагается тепловой тест-объект с метками. На экране тепловизора при этом наблюдается тепловое изображение теплового тест-объекта [2].

Поворачивая тепловизор с помощью поворотного столика в горизонтальной плоскости, необходимо совместить вертикальную ось расположения меток на тепловом тест-объекте с левым и правым краями термограммы и зарегистрировать соответствующие углы на шкале столика  $\varphi_{x1}$  и  $\varphi_{x2}$ .

Для определения углов поля зрения тепловизора по вертикали изображение центра теплового тест-объекта возвращаем в центральную область термограммы и поворачиваем тепловизор в вертикальной плоскости. Необходимо совместить горизонтальную ось расположения меток на тепловом тест-объекте с нижним и верхним краями термограммы и зарегистрировать соответствующие углы на шкале столика  $\varphi_{y1}$  и  $\varphi_{y2}$ .

Углы поля зрения по горизонтали  $\varphi_x$  и по вертикали  $\varphi_y$  рассчитываются по формулам

$$\varphi_x = |\varphi_{x1} - \varphi_{x2}|, \quad \varphi_y = |\varphi_{y1} - \varphi_{y2}|.$$

Еще одним способом можно получить углы поля зрения тепловизора без поворотного столика. Для этого на той же полученной термограмме необходимо отметить крайние метки, регистрируемые по вертикали или по горизонтали. После измерения расстояния между крайними метками теплового тест-объекта (мм) и расстояния между крайними метками теплового тест-объекта на термограмме, выраженного в элементах разложения термограммы (эл.), рассчитываем мгновенный угол поля зрения  $\gamma$  по формуле

$$\gamma = \frac{2}{a} \operatorname{arctg} \frac{A}{2R},$$

где  $A$  – расстояние между крайними метками теплового тест-объекта, мм;  $a$  – расстояние между крайними метками теплового тест-объекта на термограмме, эл.;  $R$  – рабочее расстояние – максимальное расстояние между объективом тепловизора и тепловым тест-объектом с переменной щелью, которое обеспечивает максимальное значение температуры щели в термограмме, при полном раскрытии щели.

Углы поля зрения по горизонтали  $\varphi_x$  и по вертикали  $\varphi_y$  рассчитываются по формулам

$$\varphi_x = \gamma \cdot X \cdot \frac{180}{\pi},$$

$$\Phi_y = \gamma \cdot Y \cdot \frac{180}{\pi},$$

где  $\gamma$  – мгновенный угол поля зрения, рад;  $X$  – количество элементов разложения термограммы по горизонтали;  $Y$  – количество элементов разложения термограммы по вертикали.

Одной из важнейших характеристик тепловизора является его температурная чувствительность (разность температур, эквивалентная шуму).

Для определения этой характеристики на максимальном расстоянии, обеспечивающем полное перекрытие апертурой излучателя угла поля зрения тепловизора, записываем в запоминающее устройство тепловизора две термограммы через короткий промежуток времени.

Разность температур, эквивалентная шуму, рассчитывается по формуле

$$\Delta t_{\text{ЭШ}} = 0,707 \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\Delta t_i - \overline{\Delta t})^2}{n}},$$

где  $\Delta t_i$  – разность температур  $i$ -го элемента разложения термограмм, °С;  $\overline{\Delta t}$  – средняя разность температур, °С;  $n$  – количество элементов разложения в термограмме.

Разность температур для каждого элемента разложения термограмм  $\Delta t_i$  определяется, как правило, с помощью программного обеспечения, которое прилагается ко всем современным тепловизорам.

Таким образом, предложенные в статье методы определения параметров тепловизоров могут применяться при разработке методик их калибровки, а также при разработке методик испытаний других оптических приборов, таких как ИК приемников переднего обзора, ПЗС-матриц, лазерных дальномеров, целеуказателей и др.

### Библиографический список

1. ГОСТ Р 8.619–2006 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Приборы тепловизионные измерительные. Методика поверки
2. Вавилов, В. П. Инфракрасная термография и тепловой контроль / В. П. Вавилов. – М. : ИД Спектр, 2009. – 544 с.

### Бугаев, А. С.

Электронно-оптический тестер как средство калибровки пирометрических преобразователей изображения / А. С. Бугаев, Р. А. Лемаев // Инжиниринг и технологии. – 2018. – Vol. 3(1). – DOI 10.21685/2587-7704-2018-3-1-2.