



## МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПИРОМЕТРИИ

А.Фрунзе, к.т.н., ННТП ТЕРМОКОНТ

Метрология пирометрических измерений температуры реальных объектов, например в металлургии, по-прежнему не свободна от ряда ошибок. Они, в конечном счете, становятся причиной крупных техногенных аварий. В статье дан анализ метрологических проблем метода энергетической пирометрии.

### ВВЕДЕНИЕ

По давней традиции, восходящей к прошлому веку [1], пирометрию определяют как совокупность методов измерения температуры нагретых тел по их тепловому излучению. А коль скоро пирометрия – это совокупность методов, то исследователи вплоть до настоящего времени занимались именно методами – их разработкой, совершенствованием, решением возникающих при реализации используемого метода проблем. При этом они не пытались охватить взглядом все методы разом, и в первую очередь – проблемы всех этих методов.

Настала пора обобщить проблемы всех методов, увидеть, что их проблемы имеют единое происхождение. Пора понять, что решать нужно проблемы пирометрии в целом, тогда решатся и частные проблемы. И коль скоро в названии науки присутствует корень "...метрия", решение проблем главным образом происходит с применением метрологии.

Известны законы Планка, Вина, Рэлея-Джинса и Стефана-Больцмана, которые определяют величину и спектральное распределение потока энергии от нагретого тела в зависимости от его температуры. Пирометрия решает обратную задачу – нахождение температуры тела по величине и/или спектральному распределению излучаемого им потока энергии.

Можно выделить три основных метода решения обратной задачи. Первый метод – энергетический, температура определяется по величине излучаемого объектом потока энергии. Второй и третий методы – спектрального подобия и спектрального отношения – определяют температуру по спектральным характеристикам излучаемого потока энергии.

Рассмотрим проблемы метрологии энергетического метода более подробно.

## METROLOGICAL CHALLENGES OF ENERGY PYROMETRY

A.Frunze, Candidate of Engineering,  
TERMOKONT Non-Commercial Scientific-Technical  
Partnership

Metrology of pyrometric measurements of the temperature of tangible objects, for example, in metallurgy is still not error-free. Ultimately, these errors become the reasons for great industrial disasters. Analysis of metrological challenges of the energy pyrometry method is given in the article.

### INTRODUCTION

According to the long-standing tradition originating from the last century [1], pyrometry refers to the complex of methods for the temperature measurement of hot bodies on the basis of their heat radiation. And since pyrometry is the complex of methods, researchers have been studying the methods up until now, their development, improvement, solution of the problems caused by the implementation of used method. And they have not been trying to consider all methods together and, first of all, the challenges connected with these methods.

It is about time to generalize the challenges connected with all methods and see that all these challenges have one origin. It is time to understand that the pyrometry problems must be solved as a whole and then the particular problems will be solved too. And since the science name contains the root "...metry", for the most part problems solution is possible with the application of metrology.

Laws of Planck, Wien, Rayleigh-Jeans and Stefan-Boltzmann are well-known; they determine the value and spectral distribution of energy flux from hot body depending on its temperature. Pyrometry solves the inverse task – estimation of the body temperature on the basis of the value and/or spectral distribution of the energy flux radiated by it.

Three main methods for the solution of inverse task can be marked out. The first method – energy method, the temperature



## ПРОБЛЕМЫ МЕТРОЛОГИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕТОДА

Энергетический метод основан на измерении потока энергии, приходящего на приемник пирометра, и последующем преобразовании измеренной величины в значение температуры измеряемого объекта.

Принцип работы типичного энергетического пирометра, реализующего энергетический метод, следующий. Нагретый объект излучает поток энергии в полусферу, в которой расположен пирометр. Часть потока попадает на объектив пирометра, который собирает его на приемнике. Приемник вырабатывает электрический сигнал, пропорциональный величине потока энергии. Далее этот сигнал усиливается узлом электроники и преобразуется в значение температуры измеряемого объекта.

Энергетический метод объединил рассматриваемые ранее как отдельные методы - метод яркостной пирометрии, метод радиационной пирометрии и метод пирометрии частичного излучения.

Здесь необходимо отметить, что энергетическому методу присущ один очень серьезный врожденный недостаток. Энергетический поток зависит не только от температуры объекта, но и от его излучательной способности.

Излучательная способность реальных объектов всегда меньше единицы, поэтому энергетические пирометры при измерении всегда занижают результат. Для коррекции этого занижения в них необходимо ввести так называемый коэффициент излучения (или коэффициент коррекции, корректирующий коэффициент), связанный с излучательной способностью измеряемого объекта. С помощью этих коэффициентов пирометры пересчитывают измеренную ими яркостную или радиационную температуру в действительную.

Откуда берут коэффициенты излучения? В подавляющем большинстве случаев из литературных источников и из руководств по эксплуатации пирометров. И вот здесь возникают две серьезнейшие метрологические проблемы.

### Проблема множественности значений коэффициента излучения для энергетических пирометров

Множественность значений коэффициента излучения для энергетических пирометров определяется двумя причинами - "несерым" характером излучения очень многих объектов, и почти повсеместно проявляющейся зависимостью спектральной

is estimated on the basis of the value of energy flux radiated by the object. The second and third methods - methods of spectral similarity and spectral ratio - estimate the temperature on the basis of spectral characteristics of radiated energy flux.

Let us consider the metrological challenges of energy method in more detail.

## METROLOGY CHALLENGES OF ENERGY METHOD

Energy method is based on the measurement of energy flux coming to the pyrometer detector and further transformation of the measured value into the value of the temperature of measured object.

Operation principle of the standard energy pyrometer implementing the energy method is described below. Hot object radiates the energy flux into the hemisphere where the pyrometer is located. Part of the flux gets on the pyrometer lens which collects it on the detector. Detector produces the electric signal which is proportional to the value of energy flux. Then, this signal is amplified by the electronic unit and transformed into the value of the temperature of measured object.

Energy method unified the methods of brightness pyrometry, radiation pyrometry and partial radiation pyrometry which were considered as separate methods before.

It should be noted here that energy method has one serious congenital defect. Energy flux depends not only on the object temperature but on its radiation capacity as well.

Radiation capacity of tangible objects is always less than one and therefore during measurements energy pyrometers always understate the result. In order to correct this understatement it is necessary to enter so-called coefficient of radiation (or coefficient of correction, corrective factor) to them which is connected with the radiation capacity of measured object. With the help of these coefficients pyrometers translate the measured brightness or radiation temperature into the actual temperature.

Where can we find information about the radiation coefficients? Predominantly, it can be found in the literary sources and user manuals for pyrometers. And right here two very serious metrological problems occur.



излучательной способности от температуры объектов.

**Множественность значений коэффициента излучения для энергетических пирометров вследствие "несерого" характера излучения**

Описанная ниже ситуация знакома многим технологам и метрологам крупных предприятий. Предприятие приобрело у известного западного производителя полностью укомплектованную производственную линию (например, прокатный стан с шириной листа до 2500 мм для производства труб). В комплекте стана для измерения температуры прокатываемого листа используются 3-4 энергетических пирометра одного из ведущих мировых производителей. В эксплуатационной документации на оборудование указано, что при работе со сталью определенной марки в пирометрах нужно устанавливать коэффициент излучения, равный, к примеру, 0,88.

По прошествии времени один из этих пирометров выходит из строя, и для его замены приобретается другой, от другого производителя, но с той же основной погрешностью и с практически тем же показателем визирования. Однако установка нового пирометра с введенным в него значением 0,88 сопровождается появлением заметной погрешности в измерениях. Для исключения этой погрешности в него приходится ввести вместо 0,88 значение 0,91. У пользователей возникает вопрос – так каков же коэффициент излучения данной марки стали, 0,88 или 0,91? В поисках ответа на этот вопрос в другом цеху находят третий пирометр, от третьего производителя. Но проведенные им измерения ставят метрологов и технологов в окончательный тупик – в третий пирометр, чтобы получить тот же результат измерения температуры, необходимо ввести значение коэффициента излучения, равное 0,69. Вот так!

Приведенные в примере значения коэффициентов излучения в известной мере произвольны, и в каждом конкретном случае они могут быть своими. Но главное – они различны для одного и того же материала в одних и тех же условиях, но для различных пирометров. И эта неопределенность вызывает законное недовольство у пользователей пирометров.

Описанная ситуация парадоксальна – измерение одного и того же объекта в одних и тех же условиях различными пирометрами (но с одними и теми же значениями инструментальной погрешности и показателями визирования) может дать различные результаты. При этом разница между

**Challenge connected with the multiplicity of the values of radiation coefficients for energy pyrometers**

Multiplicity of the values of radiation coefficient for energy pyrometers is explained by two reasons – "non-gray" character of radiation of many objects and dependence of the spectral radiation capacity on the object temperature which is manifested almost all the time.

**Multiplicity of the values of radiation coefficients for energy pyrometers due to "non-gray" character of radiation**

Situation which is described below is familiar to many process engineers and metrologists of large enterprises. The company purchased fully-contained production line from well-known western manufacturer (for example, rolling mill with the sheet width up to 2500 mm for the production of pipes). 3-4 energy pyrometers from the complete set of the mill, produced by one of the leading world companies, are used for the measurement of the temperature of laminated sheet. It is specified in the equipment user manual that it is necessary to set the radiation coefficient equal to 0.88, for example, in the pyrometers when working with the steel of certain brand.

In the course of time, one of these pyrometers breaks down and in order to replace it the other pyrometer with the same basic error and almost the same sighting parameter is purchased from the different manufacturer. However, installation of the new pyrometer with the entered value of 0.88 is accompanied by the occurrence of evident error in measurements. In order to eliminate this error it is necessary to enter the value 0.91 instead of 0.88. And users have the question: so what is the value of radiation coefficient for this brand of steel, 0.88 or 0.91? Searching for the answer to this question, workers find the third pyrometer produced by the third company at other workshop. But the measurements performed with it puzzle the metrologists and process engineers completely – it is necessary to enter the value of radiation coefficient equal to 0.69 to the third pyrometer in order to obtain the same result of the temperature measurement. There it is!

The values of radiation coefficients given in this example are random to certain degree and in every specific case they can have specific value. But the most important is that they are different for the same material under the same conditions but for different pyrometers. And this uncertainty



результатами измерений в разы превосходит инструментальные погрешности пирометров.

Причин этого несколько, но должного метрологического анализа их до сих пор нет. Нет также и корректного, с точки зрения метрологии, пути разрешения этой коллизии. Хотя с точки зрения метрологии все просто – не учтены какие-то дополнительные погрешности, и наша задача – их найти, математически описать (если они не описаны), и корректно учесть. Поэтому ниже рассмотрены причины появления обычно неучитываемых серьезных дополнительных погрешностей, возникающих при измерениях с помощью пирометров, и пути их строгого учета и минимизации.

Как было показано выше, коэффициент излучения – величина не только материалозависимая, но и приборозависимая. То есть, коэффициент излучения одного и того же материала в одних и тех же условиях может быть разным для разных приборов с различными спектральными чувствительностями приемников излучения.

Чтобы понять причину такого поведения коэффициента излучения, обратимся к рисункам. На рис.1 изображена зависимость спектральной излучательной способности  $\epsilon(\lambda)$  низколегированной стали от длины волны излучения  $\lambda$ , построенная на основании данных из [2]. Поскольку в оригинале эта зависимость в диапазоне длин волн менее 1 мкм не измерялась, она интерполирована в область коротких волн на основании данных, имеющих в [3] и в [4]. Точность такой интерполяции весьма низка, но для данного случая, когда предполагается лишь качественно объяснить происхождение коэффициента излучения  $\epsilon$  и его различия при использовании разных пирометров, этого достаточно.

Необходимо отметить, что рассматриваемая зависимость  $\epsilon(\lambda)$  от  $\epsilon(\lambda)$  не является константой, по крайней мере, в видимой и ближней ИК-области спектра. Объекты, характеризующиеся такой зависимостью  $\epsilon(\lambda)$  от  $\lambda$ , получили название "несерых объектов" или "несерых тел".

На рис.2 приведены спектральные характеристики чувствительности трех различных приемников излучения. Кривая  $s_a(\lambda)$  соответствует приемнику на основе Si-фотодиода с отрезающим фильтром из стекла марки ИКС. Кривая  $s_b(\lambda)$  соответствует приемнику на основе InGaAs-фотодиода. Кривая  $s_c(\lambda)$  соответствует "солнечно слепому" тепловому приемнику с диапазоном спектральной чувствительности от 7–8 мкм до 12–13 мкм.

На рис.3 спектральные характеристики чувствительности вышеупомянутых приемников излучения совмещены со спектральной излучательной

causes the fair complaints from the pyrometer users.

Described situation is paradoxical – measurement of the same object under the same conditions using different pyrometers (but with the same values of instrumental error and sighting parameters) can give different results. And the difference between these measurement results exceeds the instrumental errors of pyrometers by several times.

There are several reasons for it but metrological analysis has not been given yet. Also, the way for the solution of this collision which is correct from the metrological point of view has not been found yet. Although, everything is simple from the metrological point of view – some additional errors are not taken into account and our task is to find them, describe mathematically (if they have not been described) and take into account correctly. Therefore, reasons for the occurrence of severe additional errors, which are not taken into account and take place during the measurements performed by pyrometers, and ways of their strict registration and minimization are considered below.

As it was shown above, radiation coefficient is the parameter which depends not only on the material but instrument as well. In other words, radiation coefficient of the same material under the same conditions can have different values for different instruments with various spectral sensitivities of radiation detectors.

In order to understand the reason for such behavior of radiation coefficient let us use the following figures. Dependence of the spectral radiation capacity  $\epsilon(\lambda)$  of low-alloy steel on the radiation wavelength  $\lambda$  plotted on the basis of the data from the paper [2] is shown in Fig. 1. Since in original this dependence within the range of wavelengths of less than 1  $\mu\text{m}$  was not measured, it is interpolated into the short wave region on the basis of the data given in the papers [3] and [4]. Accuracy of such interpolation is very low but for this case when it is necessary just to explain the origin of the radiation coefficient  $\epsilon$  and its difference upon the use of different pyrometers in qualitative manner it will be enough.

It should be noted that the considered dependence of  $\epsilon(\lambda)$  on  $\epsilon(\lambda)$  is not constant, at least in the visible and near IR spectrum region. Objects which are characterized by such dependence  $\epsilon(\lambda)$  on  $\epsilon(\lambda)$  are called "non-gray objects" or "non-gray bodies".



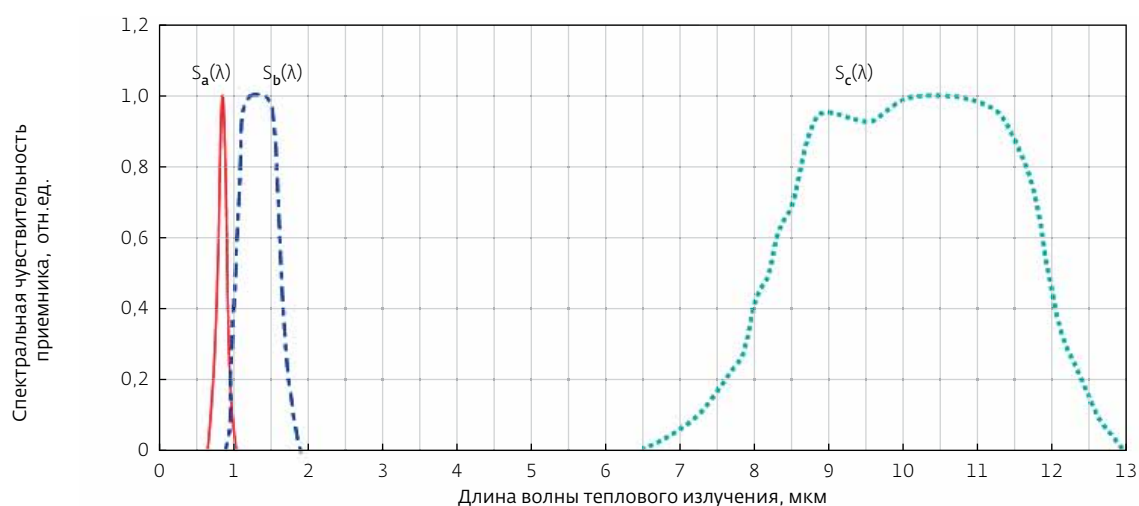
**Рис.1.** Зависимость спектральной излучательной способности  $\epsilon(\lambda)$  низколегированной стали от длины волны излучения  $\lambda$   
**Fig. 1.** Dependence of the spectral radiation capacity  $\epsilon(\lambda)$  of low-alloy steel on the wavelength  $\lambda$

способности  $\epsilon(\lambda)$  низколегированной стали из рис.1. Очевидно, что в диапазоне чувствительности первого приемника спектральная излучательная способность  $\epsilon(\lambda)$  изменяется вблизи значения 0,7. В диапазоне чувствительности второго приемника спектральная излучательная способность  $\epsilon(\lambda)$  изменяется примерно от 0,65 до 0,6. А в диапазоне чувствительности третьего приемника спектральная излучательная способность  $\epsilon(\lambda)$  изменяется примерно от 0,27 до 0,22.

Таким образом, для "несерых тел", к которым относится подавляющее большинство металлов,

The spectral sensitivity characteristics of three different radiation detectors are given in Fig. 2. The curve  $s_a(\lambda)$  corresponds to the detector based on Si-photodiode with the cutting filter of infrared glass. The curve  $s_b(\lambda)$  corresponds to the detector based on InGaAs-photodiode. The curve  $s_c(\lambda)$  corresponds to the "solar-blind" thermal detector with the spectral sensitivity range of 7-8  $\mu\text{m}$  to 12-13  $\mu\text{m}$ .

In Fig. 3 the spectral sensitivity characteristics of the above-mentioned radiation detectors are superposed with the spectral radiation capacity



**Рис.2.** Спектральные характеристики чувствительности приемников излучения на основе Si-фотодиода ( $s_a(\lambda)$ ), InGaAs-фотодиода ( $s_b(\lambda)$ ) и термоэлемента ( $s_c(\lambda)$ )

**Fig. 2.** Spectral characteristics of sensitivity of radiation detectors based on Si-photodiode ( $s_a(\lambda)$ ), InGaAs-photodiode ( $s_b(\lambda)$ ) and thermal element ( $s_c(\lambda)$ )

коэффициент излучения оказывается зависящим от спектрального диапазона, в котором работает энергетический пирометр. А в справочной литературе практически повсеместно отсутствует информация о том, в каком спектральном диапазоне были проведены измерения, представленные в соответствующих таблицах. Поэтому пользователь запросто может ввести в свой пирометр значение коэффициента излучения, соответствующее пирометру с другим спектральным диапазоном. Если эти значения различны, т.е. объект "несерый", возникнет методическая погрешность вследствие ввода ошибочного значения коэффициента излучения, определяемая (для яркостных пирометров) соотношением:

$$\frac{T_d - T'_d}{T_d} = \frac{T_d \cdot \frac{\lambda}{c_2} \cdot \ln\left(1 + \frac{\Delta\varepsilon_\lambda(\lambda, T)}{\varepsilon_\lambda''(\lambda, T)}\right)}{1 + T_d \cdot \frac{\lambda}{c_2} \cdot \ln\left(1 + \frac{\Delta\varepsilon_\lambda(\lambda, T)}{\varepsilon_\lambda''(\lambda, T)}\right)} \quad (1)$$

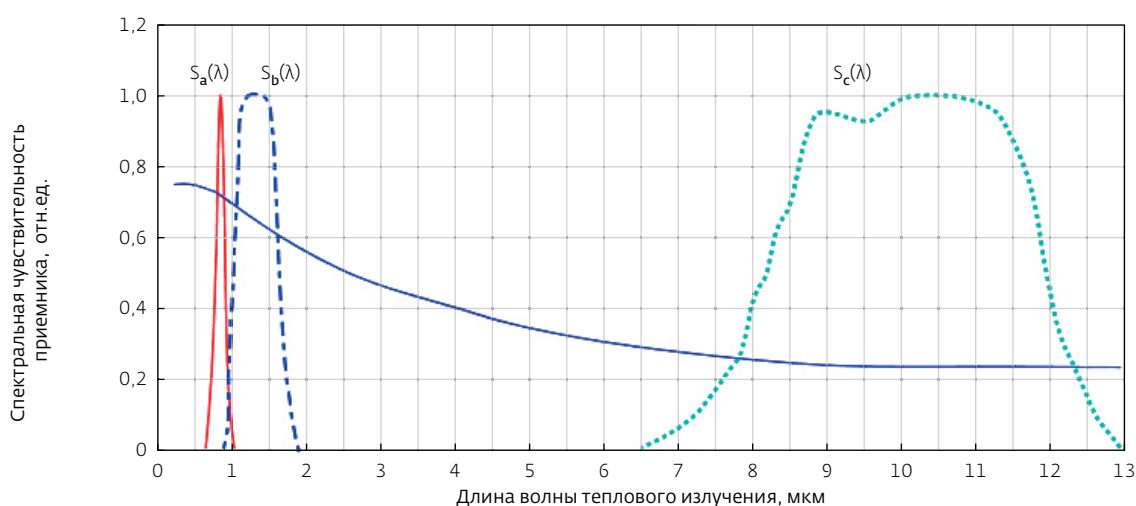
Здесь  $T_d$  – действительное значение температуры объекта,  $T'_d$  – значение температуры объекта, получаемое при вводе ошибочного значения коэффициента излучения,  $\varepsilon_\lambda''(\lambda, T)$  – действительное (соответствующее используемому пирометру) значение излучательной способности, а  $\Delta\varepsilon_\lambda(\lambda, T)$  – ошибка ввода коэффициента излучения, т.е. разность между  $\varepsilon_\lambda''(\lambda, T)$  и тем значением, которое взято из справочной литературы,  $c_2 = 1,4380 \cdot 10^{-2}$  м·К.

Результаты расчета величины дополнительной методической погрешности вследствие ввода ошибочного значения коэффициента излучения

$\varepsilon(\lambda)$  of low-alloy steel from Fig. 1. It is evident that within the range of sensitivity of the first detector the spectral radiation capacity  $\varepsilon(\lambda)$  varies near the value of 0.7. Within the range of sensitivity of the second detector the spectral radiation capacity  $\varepsilon(\lambda)$  varies approximately from 0.65 to 0.6. And within the range of sensitivity of the third detector the spectral radiation capacity  $\varepsilon(\lambda)$  varies approximately from 0.27 to 0.22.

Thus, for "non-gray bodies", which the vast majority of metals refer to, the radiation coefficient turns out to depend on the spectral range where the energy pyrometer functions. And practically in all reference literature there is no information on the spectral ranges within which the measurements specified in the relevant tables were performed. Therefore, the user can easily enter the value of radiation coefficient to his pyrometer which corresponds to the pyrometer with different spectral range. If these values are different or the object is "non-gray" the method error will occur due to the entry of the inaccurate value of radiation coefficient, estimated (for brightness pyrometers) on the basis of the following correlation:

$$\frac{T_d - T'_d}{T_d} = \frac{T_d \cdot \frac{\lambda}{c_2} \cdot \ln\left(1 + \frac{\Delta\varepsilon_\lambda(\lambda, T)}{\varepsilon_\lambda''(\lambda, T)}\right)}{1 + T_d \cdot \frac{\lambda}{c_2} \cdot \ln\left(1 + \frac{\Delta\varepsilon_\lambda(\lambda, T)}{\varepsilon_\lambda''(\lambda, T)}\right)} \quad (1)$$



**Рис.3.** Совмещение спектральных характеристики чувствительности приемников со спектральной излучательной способностью  $\varepsilon(\lambda)$  низколегированной стали

**Fig. 3.** Superposition of the spectral characteristics of sensitivity of detectors with the spectral radiation capacity  $\varepsilon(\lambda)$  of low-alloy steel

в соответствии с (1) приведены в таблицах 1-3. Расчеты были проведены для трех температур (1600 К, 2000 К и 2600 К) и для длин волн 0,6 мкм, 1 мкм, 1,5 мкм, 2 мкм, 5 мкм, 8 мкм и 12 мкм. При этом в таблице 1 приведены результаты, соответствующие 10%-ной погрешности в определении излучательной способности, в таблице 2 – 20%-ной, в таблице 3 – 30%-й.

Из табл.1-3 следует, к примеру, что если пирометр работает на длинах волн 1,5-2 мкм, то при 10%-й ошибке при определении коэффициента излучения упомянутая дополнительная погрешность составит от 1,5 до 3,3%. При 20%-ной ошибке – от 2,9 до 6,2%, при 30%-ной ошибке – от 4,2 до 8,7%. Если пирометр работает на длине волны 12 мкм, то при 10%-й ошибке при определении коэффициента излучения упомянутая дополнительная погрешность составит от 11 до 17%. При 20%-й ошибке – от 19 до 28%, при 30%-й ошибке – от 26 до 36%. Иными словами, эта дополнительная погрешность очень

Here,  $T_d$  is the actual value of the object temperature,  $T'_d$  is the value of the object temperature obtained upon the entry of inaccurate value of radiation coefficient,  $\epsilon_\lambda^n(\lambda, T)$  is the actual (corresponding to the used pyrometer) value of radiation capacity, and  $\Delta\epsilon_\lambda(\lambda, T)$  is the error of radiation coefficient entry, in other words, it is the difference between  $\epsilon_\lambda^n(\lambda, T)$  and value which was taken from the reference literature,  $c_2 = 1,4380 \cdot 10^{-2} \text{ м}\cdot\text{К}$ .

Calculation results of the value of additional method error connected with the entry of inaccurate value of radiation coefficient in accordance with the formula (1) are given in Tables 1-3. Calculations were performed for three temperatures (1600 К, 2000 К and 2600 К) and wavelengths of 0.6  $\mu\text{м}$ , 1  $\mu\text{м}$ , 1.5  $\mu\text{м}$ , 2  $\mu\text{м}$ , 5  $\mu\text{м}$ , 8  $\mu\text{м}$  and 12  $\mu\text{м}$ . And the results which correspond to 10% error in the estimation of

**Таблица 1.** Результаты измерения, соответствующие 10%-ной погрешности в определении значения коэффициента излучения

**Table 1.** Measurement results corresponding to the error 10% when estimating the radiation coefficient

Температура Temperature	0,6 мкм/ $\mu\text{м}$	1 мкм/ $\mu\text{м}$	1,5 мкм/ $\mu\text{м}$	2 мкм/ $\mu\text{м}$	5 мкм/ $\mu\text{м}$	8 мкм/ $\mu\text{м}$	12 мкм/ $\mu\text{м}$
1600K	0,0063	0,0105	0,0157	0,0208	0,0504	0,0782	0,1129
2000K	0,0079	0,0131	0,0195	0,0258	0,0622	0,0959	0,1372
2600K	0,0102	0,0169	0,0252	0,0333	0,0793	0,1212	0,1714

**Таблица 2.** Результаты измерения, соответствующие 20%-ной погрешности в определении значения коэффициента излучения

**Table 2.** Measurement results corresponding to the error 20% when estimating the radiation coefficient

Температура Temperature	0,6 мкм/ $\mu\text{м}$	1 мкм/ $\mu\text{м}$	1,5 мкм/ $\mu\text{м}$	2 мкм/ $\mu\text{м}$	5 мкм/ $\mu\text{м}$	8 мкм/ $\mu\text{м}$	12 мкм/ $\mu\text{м}$
1600K	0,0120	0,0199	0,0295	0,0390	0,0921	0,1396	0,1958
2000K	0,0150	0,0247	0,0366	0,0483	0,1125	0,1686	0,2333
2600K	0,0194	0,0319	0,0471	0,0619	0,1415	0,2087	0,2835

**Таблица 3.** Результаты измерения, соответствующие 30%-ной погрешности в определении значения коэффициента излучения

**Table 3.** Measurement results corresponding to the error 30% when estimating the radiation coefficient

Температура Temperature	0,6 мкм/ $\mu\text{м}$	1 мкм/ $\mu\text{м}$	1,5 мкм/ $\mu\text{м}$	2 мкм/ $\mu\text{м}$	5 мкм/ $\mu\text{м}$	8 мкм/ $\mu\text{м}$	12 мкм/ $\mu\text{м}$
1600K	0,0172	0,0284	0,0420	0,0552	0,1274	0,1893	0,2594
2000K	0,0214	0,0352	0,0519	0,0680	0,1543	0,2260	0,3045
2600K	0,0277	0,0453	0,0664	0,0867	0,1917	0,2731	0,3628



часто является значимой, заметно влияющей на результат измерения, а иногда и просто катастрофической! А пользователь при этом не только не знает величины этой погрешности, но чаще всего даже не догадывается об ее существовании! В этом заключается первая из упомянутых метрологических проблем.

На практике же на эту составляющую погрешности метрологи попросту закрывают глаза. Причина в том, что они обычно не знают, как найти метрологически значимое значение коэффициента излучения  $\epsilon$ . Зачастую значение  $\epsilon$  определяют эмпирическим путем, "подкручивая" вводимый в пирометр коэффициент до нахождения того значения, при котором пирометр выдает результат измерения, соответствующий тому, который технолог или его руководство считает правильным.

Некорректность подобного "подкручивания" с точки зрения метрологии можно показать на таком очевидном примере. Пусть мы измеряем микровольтметром постоянного тока малые значения напряжений в узле печатного монтажа. Как известно, при контакте медного щупа прибора с коварным выводом микросхемы возникает довольно значительная контактная разность потенциалов (порядка 30 мкВ при комнатной температуре). Совершенно очевидно, что если вместо вычитания из результата измерений этой разности потенциалов (скорректированной с учетом температуры вывода микросхемы) мы будем в определенных пределах плавно "подкручивать" коэффициент усиления микровольтметра до получения на его индикаторе значения, соответствующего действительному значению измеряемой величины, о единстве измерений в радиотехнике можно будет забыть. Исключать методические погрешности методом "подгонки под правильный результат", без опоры на измерение влияющей величины и на знание ее зависимостей от тех или иных параметров среды, недопустимо.

*Продолжение следует.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Рибо Г.** Оптическая пирометрия / Пер. с французского. – М.: ГТТИ, 1934. – 343 с.
2. **Беленький А.М., Дубинский М.Ю., Ладыгичев М.Г и др.** Измерение температуры: теория, практика, эксперимент: Справочное издание. В 3-х томах. Т.2. – М.: Теплотехник, 2007.
3. **Брамсон М.А.** Инфракрасное излучение нагретых тел. В 2 томах. Т.1. – М.: Наука, 1965.
4. Излучательные свойства твердых материалов/ Под ред. Шейндлина А.Е. – М.: Энергия, 1974.





radiation capacity are specified in Table 1, 20% – in Table 2, 30% – in Table 3.

It appears from Tables 1-3 that if pyrometer functions on the wavelengths of 1.5-2  $\mu\text{m}$ , for example, upon the error 10% during the estimation of radiation coefficient the mentioned additional error will be 1.5 to 3.3%, upon the error 20% – 2.9 to 6.2%, upon the error 30% – 4.2 to 8.7%. If pyrometer functions on the wavelength of 12  $\mu\text{m}$  upon the error 10% during the estimation of radiation coefficient the mentioned additional error will be 11 to 17%, upon the error 20% – 19 to 28%, upon the error 30% – 26 to 36%. In other words, very often this additional error is significant and noticeably influences on the measurement result and sometimes it is even catastrophic! And user does not know the value of this error and most often does not even suspect about its existence! So this is the first mentioned metrological problem.

In practice, metrologists just close their eyes to this component of the error. And the reason for it lies in the fact that they usually do not know how to estimate the value of the radiation coefficient  $\epsilon$  which is metrologically significant. Often, metrologists estimate the value  $\epsilon$  on the basis of empiricism "adjusting" the coefficient, entered to pyrometer, till they obtain the value with which the pyrometer will give them measurement result corresponding to the value which process engineer or his management considers correct.

Incorrectness of the similar "adjustment" from the metrological point of view can be shown using such evident example. For example, we measure the low values of voltage in the printed-circuit wiring unit using the microvoltmeter for direct current. As it is known, upon the contact of copper probe with kovar pin rather large contact potential difference occurs (about 30  $\mu\text{V}$  at the room temperature). It is obvious, if instead of deduction of this potential difference (corrected for the pin temperature) from the measurement result we will gradually "adjust" the microvoltmeter amplification coefficient within the specific limits until we receive the value corresponding to the actual value of measured parameter on display, we can forget the traceability of measurements in radio engineering. It is inadmissible to eliminate method errors by the "adjustment for correct result" not relying upon the measurement of influencing factor and awareness of its dependencies on different medium parameters.

*To be continued.*

## КОРПОРАЦИЯ OptiGrate СТАЛА ПОБЕДИТЕЛЕМ КОНКУРСА NBIA

Компания OptiGrate работает в области изготовления оптических устройств из технического стекла. Ассортимент продукции OptiGrate, – а это в основном оптические дифракционные устройства, – включают в себя объемные брэгговские дифракционные решетки (VBC), решетки для chirпирования лазерных импульсов (CBC), для селекции лазерных мод и блокировки излучения, работающие на просвет (TBC) и на отражение (RBC). Однако в портфеле заказов компании есть и другие устройства из фото-термо-рефрактивного стекла (PTR) – натрий-цинк-алюминий-силикатное стекло, допированное ионами серебра, церия и фтора. Такой материал, являясь прозрачным, в тоже время обладает рефрактивными свойствами. Это позволяет записывать в его толще голограммы и исследовать их оптические структуры. Всем памятен удачный эксперимент при исследовании распределения плотности мощности по сечению лазерного пучка, который специалисты OptiGrate провели совместно с исследователями из компании GTRI в 2010 году. Они разработали и изготовили мишень, которая могла выдержать излучение высокоэнергетического лазера, лишь незначительно влияя на лазерный луч. В качестве материала мишени было использовано PTR-стекло. Это элегантное решение позволило обойтись при измерении плотности мощности лазерного луча в 10 кВт/см<sup>2</sup> без колориметров.

Работа OptiGrate регулярно отмечается многочисленными наградами и грантами. В мае 2014 года за создание на основе голографических решеток, выполненных в PTR-стекле, фильтров для лазерных излучателей компания была удостоена главного приза Национальной Ассоциации бизнес-инкубаторов и звания победителя ее престижного конкурса в номинации "технологии".

[www.optigrate.com](http://www.optigrate.com)

## ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СВЕТОТЕХНИКИ, ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ

11–12 декабря 2014 года в Саранске (Мордовия) при поддержке правительства Республики Мордовия ФГБОУ ВПО "Мордовский государственный университет им. Н.П.Огарева" проводит XII Всероссийскую с международным участием научно-техническую конференцию "Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики".

Конференция будет работать по направлениям:

- светодиодная светотехника;
- теоретическая светотехника и физиологическая оптика;
- техника освещения;
- высокоэффективные и ресурсосберегающие источники оптического излучения;
- светотехническое материаловедение;
- перспективные электротехнические устройства: компьютерное моделирование и разработка;
- метрология, стандартизация и сертификация.

Более подробная информация размещена на сайте конференции: [www.http://stf.mrsu.ru/](http://stf.mrsu.ru/). Материалы присылать по адресу: [konf.stf.mrsu@mail.ru](mailto:konf.stf.mrsu@mail.ru). Справки по тел.: +7(8342) 290637; +7(8342) 290773; +7(8342) 474623, светотехнический факультет.

*А.Ашрапов, <http://stf.mrsu.ru/>*

## ОРТАТЕС 2014 – БИЗНЕС-ПЛАТФОРМА ДЛЯ ОПТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Пора многочисленных оптических выставок и конференций 2014 года подходит к завершению, время подводить итоги. Международная выставка оптических технологий, компонентов и систем – ORTATEC, регулярно проходящая с интервалом в два года во Франкфурте в Германии, известна тем, что посвящена исключительно вопросам, связанным с разработками и применениями разнообразных оптических технологий. Для сравнения: Международная выставка LASER. Word of Photonics больше ориентирована на фотонные компоненты и устройства, LASYS посвящена лазерным методам обработки материалов. И как только Optatec в двенадцатый раз закрыл двери за своим последним посетителем, ее организаторы поспешили подвести итоги. На 194 000 квадратных футов свои экспонаты представили 570 компаний из 27 стран, чуть меньше половины из них – немецкие компании. За три дня работы выставки они привлекли внимание 5241 зрителя. В центре внимания – компоненты волоконной оптики, фотовольтаики, светодиодные решения и системы безопасности, а также технологические установки для производства медицинской техники. Акцент был сделан на оптические технологии, используемые в вопросах эффективности обработки материалов и сохранения ресурсов и охраны окружающей среды, где оптические технологии способны заменить традиционные благодаря своим возможностям и доступной цене. Разнообразие экспозиции еще раз доказало перспективность рынка фотоники, стало очевидным и то, что инновации в оптических технологиях будут проявляться прежде всего в виде аппаратного и программного обеспечения. Следующая международная выставка оптических технологий, компонентов и систем ORTATEC пройдет в выставочном центре Франкфурта с 7 по 9 мая 2016 года.



[www.optatec.de](http://www.optatec.de)  
Фото Л.Каряжиной





## ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ НАЗЕМНОГО И КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ

25–26 сентября 2014 года холдинг "Швабе", входящий в Госкорпорацию Ростех, провел научно-практическую конференцию "Оптико-электронные комплексы наземного и космического базирования", организованную совместно с общественной научно-технической академией "Контенант". Конференция прошла на территории предприятия холдинга ОАО "Лыткаринский завод оптического стекла" (ОАО "ЛЗОС") – и была посвящена 75-летию завода.

Цели, которые поставили перед собой организаторы мероприятия – активизация взаимодействия фундаментальной, прикладной науки с профильными промышленными предприятиями, ускоренное внедрение инновационных технических решений в производство, а также привлечение молодых специалистов и ученых к решению приоритетных задач в области оптико-электронного приборостроения.

Открыли конференцию президент международной академии "Контенант" Богдан Сенник и генеральный директор ОАО "ЛЗОС" Алексей Патрикеев. Российских ученых, занимающихся фундаментальными исследованиями, представляли директор Специальной астрофизической обсерватории член-корреспондент РАН Юрий Балега с докладом "Российская наземная астрономия: перспективы развития и новые задачи для отечественной оптической промышленности" и директор Института Астрономии РАН член-корреспондент РАН Борис Шустов, выступление которого "Оптико-электронные комплексы для решения проблемы астероидно-кометной опасности" было посвящено актуальности предотвращения событий типа челябинского.

Всего в работе конференции приняли участие почти 200 ученых и специалистов-практиков из России, Беларуси, Германии, Италии и Чехии.

Среди них 14 докторов наук и 30 кандидатов наук. В рамках работы трех секций: "Разработка конструкций оптико-электронных приборов и комплексов", "Материалы для изготовления прецизионных оптических элементов", "Технологии изготовления, контроля оптических элементов, сборки, юстировки и испытаний оптико-электронных приборов" прозвучало около 100 научных докладов. С обзором работы российской астрономической оптики производства "Швабе" в Италии выступил директор департамента физики Неаполитанского университета профессор Массимо Капаччоли.

В центре внимания оказался анализ современных тенденций в разработке и изготовлении прецизионных крупногабаритных оптических элементов, электронных компонентов для оптико-электронных комплексов космической и авиационной техники. На конференции было рассмотрено современное состояние отечественных и зарубежных астрономических обсерваторий. Участники были единодушны в мнении о необходимости модернизации астрономических инструментов, оснащении их самыми современными оптико-электронными комплексами наземного базирования.

Холдинг "Швабе" объединяет основные предприятия оптико-электронной отрасли. В его состав входят 64 организации, в том числе научно-производственные объединения, конструкторские бюро, оптические институты, а также сервисно-сбытовые компании. Холдинг разрабатывает и производит высокотехнологичные оптико-электронные системы и комплексы специального и гражданского назначения, оптические материалы, медицинское оборудование, энергосберегающую светотехнику и другие виды продукции. Входит в Госкорпорацию Ростех.



Государственная корпорация Ростех – российская корпорация, созданная в 2007 году для содействия разработке, производству и экспорту высокотехнологичной промышленной продукции гражданского и военного назначения. В ее составе около 700 организаций, из которых в настоящее время сформировано 9 холдинговых компаний в оборонно-промышленном комплексе и 5 – в гражданских отраслях промышленности. Организации Ростеха расположены на территории 60 субъектов РФ и поставляют продукцию на рынки более 70 стран. Выручка Ростеха в 2013 году составила 1,04 трлн. рублей, чистая прибыль – 40 млрд. рублей. Налоговые отчисления в бюджеты всех уровней превысили 138 млрд. рублей.

*По материалам [shvabe.com](http://shvabe.com) и [www.zenit-foto.ru](http://www.zenit-foto.ru)  
(фото Л.Карякиной)*

