

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ БЕСКОНТАКТНОГО  
МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

**Левинский Александр Сергеевич**

*аспирант*

*Одесского национального политехнического университета*

*Украина, г. Одесса*

**Голофеева Марина Александровна**

*кандидат технических наук, доцент*

*Одесского национального политехнического университета*

*Украина, г. Одесса*

TO THE PROBLEM OF INCREASING THE ACCURACY OF  
CONTACTLESS METHOD OF MEASURING THE TEMPERATURE

**Alexandr Levinsky**

*graduate student*

*Odessa National Polytechnic University*

*Odessa, Ukraine*

**Maryna Holofieieva**

*Ph.D., Associate Professor*

*Odessa National Polytechnic University*

*Odessa, Ukraine*

**Аннотация**

Исследуется проблема повышения точности измерений температуры бесконтактным методом с помощью применения приборов инфракрасной техники. Показано, что применение тепловизионного метода связано с определенными трудностями, которые зачастую приводят к существенному снижению точности измерения. Мощность излучения, достигающего чувствительного элемента измерительного устройства, является функцией температуры исследуемого участка поверхности и заранее неизвестного коэффициента излучения, который, в свою очередь, зависит от материала, состояния поверхности объекта

контроля и направления, в котором наблюдается излучающая поверхность. Именно неопределенность в задании излучательной способности поверхности исследуемого объекта является основной трудностью при расчетах температур по результатам тепловизионных измерений. Актуальным является исследование влияния угла наблюдения на точность бесконтактного метода измерения температуры, особенно, учитывая, что форма объектов контроля зачастую является достаточно сложной.

### **Abstract**

The problem of improving the accuracy of non-contact method of measuring the temperature by applying infrared imaging is devised. It is shown that the use of thermal imaging method is associated with certain difficulties, which often lead to a significant reduction in the measurement accuracy. The power of radiation, which reaches the sensor of the measuring device is a function of the temperature of the test surface area and the emissivity of an unknown in advance, which in turn depends on the material, the surface state of the control object and the direction in which the radiating surface is observed. The uncertainty in the designation the emissivity of the surface of the object is the main difficulty in the calculation of the temperature on the results of thermal measurements. The investigation of the influence of the angle of observation on the accuracy of non-contact method of measuring the temperature, especially considering that the shape of the controlled objects is often quite complex, is very topical.

**Ключевые слова:** бесконтактный метод измерения; коэффициент излучательной способности; угол наблюдения; точность измерения.

**Keywords:** Non-contact method of measuring; emissivity; viewing angle; accuracy.

Температура, как количественный показатель внутренней энергии тел, является универсальной характеристикой объектов и процессов физического мира, в котором непрерывно происходит генерация, преобразование, передача, накопление и использование энергии в различных ее формах [1]. Именно поэтому связь данной физической величины с контролируемыми параметрами объектов исследования очень широко применяется для диагностики их состояния и протекания физических процессов в природе, энергетике, строительстве и промышленности. Одним из наиболее удобных методов измерения температуры является бесконтактный метод с применением приборов инфракрасной техники (тепловизоров и пирометров).

Несмотря на перспективность применения бесконтактного метода измерения, связанную с такими преимуществами, как высокая информативность и продуктивность, дистанционность, мобильность аппаратуры, экологичность, независимость от размеров объекта контроля, отсутствие необходимости выведения объекта контроля из эксплуатации а, следовательно, снижение затрат [2], его проведение связано с определенными трудностями, которые зачастую приводят к существенному снижению точности измерения. Рассмотрим данную проблему более подробно.

Измеряемое инфракрасное излучение при наблюдении тела является результатом наложения трех явлений [3]:

- тело отражает часть энергии излучения, испускающего окружающей средой;
- если тело частично прозрачно, оно пропускает часть излучения фона;
- температура тела обуславливает его собственное излучение.

Поэтому можно утверждать, что оптический сигнал, испускаемый исследуемым объектом, является достаточно сложным и требует нетривиальных решений задачи измерения температуры с помощью приборов инфракрасной техники. К тому же, необходимо учитывать влияние атмосферы (поглощение газами, рассеяние на частицах, атмосферная турбулентность) на распространение излучения, поскольку этот фактор также существенным образом влияет на правильность оценки энергии излучения.

Известно, что мощность излучения, достигающего чувствительного элемента измерительного устройства, является функцией температуры исследуемого участка поверхности и заранее неизвестного коэффициента излучения, который, в свою очередь, зависит от материала, состояния поверхности объекта контроля и направления, в котором наблюдается излучающая поверхность. Именно неопределенность в задании излучательной способности поверхности исследуемого объекта является основной трудностью при расчетах температур по результатам тепловизионных измерений [2]. Эта физическая величина характеризуется коэффициентом излучения поверхности, значение которого для поверхности каждого конкретного объекта является индивидуальным.

В том случае, когда коэффициент излучения объекта контроля является известным, его фактическая величина может быть рассчитана по формуле [4]:

$$T_{\text{факт}} = \frac{T_{\text{рад}}}{\sqrt[4]{\varepsilon}}, \quad (1)$$

где  $T_{\text{факт}}$  – фактическая температура объекта контроля;

$T_{\text{рад}}$  – радиационная температура объекта контроля, воспринимаемая прибором инфракрасной техники;

$\varepsilon$  – коэффициент излучательной способности материала объекта контроля.

Достаточной частой причиной отклонения фактического значения коэффициента излучательной способности от заданного является ошибочно выбранный угол наблюдения поверхности объекта контроля, что существенным образом влияет на данный коэффициент. Это приводит к необходимости проведения термографии поверхности объекта контроля с различных ракурсов и увеличению времени, необходимого для проведения исследований. Учитывая, что форма объектов контроля зачастую является достаточно сложной, исследование влияния угла наблюдения на точность бесконтактного метода измерения температуры является актуальным.

На практике металлы и диэлектрики подчиняются закону Ламберта только при небольших углах наблюдения: коэффициент излучательной способности является неизменным в интервале углов наблюдения  $0 \dots 40^\circ$ , для диэлектриков – в интервале  $0 \dots 60^\circ$ . За границами этих диапазонов коэффициент излучательной способности существенно изменяется при направлении наблюдения по касательной [3]. Это связано с ростом отражательной способности в соответствии с законами Френеля, относящимися к прохождению электромагнитных волн через границу раздела двух сред.

Фактическое значение коэффициента излучательной способности может быть рассчитано по формуле:

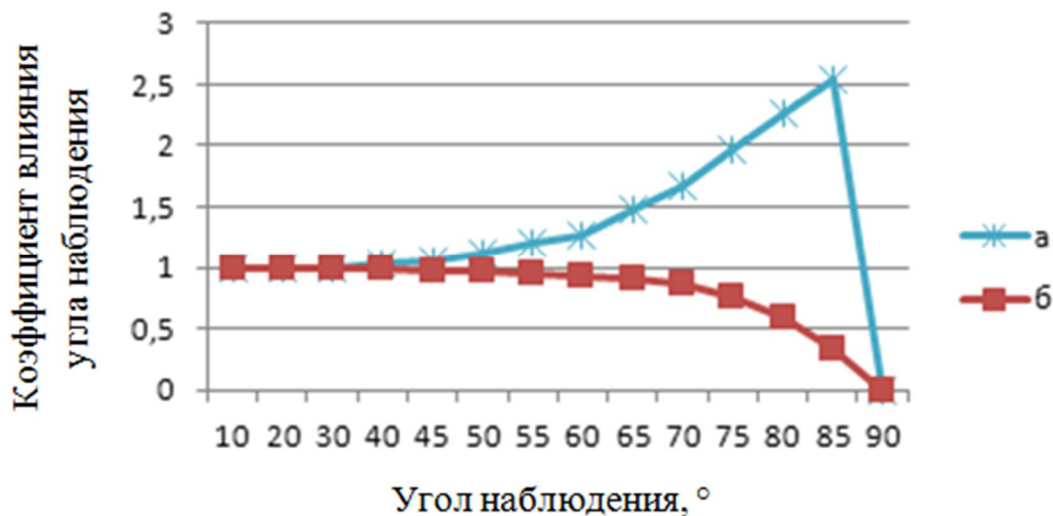
$$\varepsilon_{\text{факт}} = \frac{\varepsilon_{\text{вим}}}{K_{\text{угол}}}, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_{\text{факт}}$  – фактическое значение коэффициента излучательной способности;

$\varepsilon_{\text{вим}}$  – измеренное значение коэффициента излучательной способности;

$K_{\text{угол}}$  – коэффициент влияния угла наблюдения.

На рисунке показана зависимость значения  $K_{\text{угол}}$  от угла наблюдения.



а – металлы; б – диэлектрики

**Рисунок – Зависимость значения  $K_{\text{угол}}$  от угла наблюдения**

По результатам анализа зависимостей, представленных на рисунке, можно сделать следующие выводы: при изменении угла наблюдения в широком диапазоне коэффициент излучательной способности, как металлов, так и диэлектриков, изменяется в несколько раз, что существенным образом влияет на точность бесконтактного метода измерения температуры. Получены зависимости коэффициента  $K_{\text{угол}}$  от угла наблюдения. Для металлов такая зависимость имеет вид:

$$K_{\text{кут}} = \begin{cases} 0,0164\phi^2 - 0,1067\phi + 1,1464, & 0 \leq \phi \leq 85 \\ -2,53\phi + 5,06, & 85 \leq \phi \leq 90 \end{cases} \quad (3)$$

где  $\phi$  – угол наблюдения.

Для диэлектриков зависимость  $K_{\text{угол}}$  от угла наблюдения наиболее точно описывается формулой:

$$K_{\text{угол}} = -0,0014 \cdot \phi^3 + 0,022 \cdot \phi^2 - 0,1 \cdot \phi + 1,1. \quad (4)$$

**Выводы:**

Показано, что, несмотря на преимущества бесконтактного метода измерения температуры, его применение связано с определенными трудностями, среди которых отмечается влияние на точность измерения отражательной способности объектов контроля, фонового излучения и атмосферы, а также неопределенность задания излучательной способности объектов контроля. Показано, что при изменении угла наблюдения в широком диапазоне коэффициент излучательной способности, как металлов, так и диэлектриков, изменяется в несколько раз, что существенно влияет на точность бесконтактного метода измерения температуры. Получены зависимости коэффициента  $K_{\text{угол}}$  от угла наблюдения для металлов и диэлектриков. Учет зависимости коэффициента излучательной способности от угла наблюдения при измерениях с помощью приборов инфракрасной техники позволит не только повысить точность измерений, но и существенным образом сократить время, необходимое для проведения измерений, за счет уменьшения количества необходимых ракурсов съемки объекта контроля.

### **Список использованной литературы**

1. Вавилов, В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль / В.П. Вавилов. – М.: ИД Спектр, 2009 – 544 с.
2. Оборський Г.О. Дослідження впливу випромінювальної здатності матеріалів на точність тепловізійного методу контролю / Г.О. Оборський, О.С. Левинський, М.О. Голофеева // Технологический аудит и резервы производства - №2/3(28), 2016. – С. 4-7.
3. Госсорг, Ж. Инфракрасная термография. Основы. Техника. Применение / Ж. Госсорг. – М.: Мир, 1988 – 416 с.

4. Енюшин В.Н. О влиянии излучательной способности поверхности исследуемого объекта на точность измерения температур при тепловизионном обследовании / В.Н. Енюшин, Д.В. Крайнов // Известия КТАСУ – №1(23), 2013. – С. 99-103.