

УДК 69.058.7

М.А. Голофеева, канд. техн. наук, А.С. Левинский,  
В.М. Тонконогий, д-р техн. наук, Одесса, Украина

## **ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРОВ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕХНИКИ**

*В статті розглядаються питання підвищення точності вимірювання температури за допомогою приладів інфрачервоної техніки. Показано, що врахування відхилення дійсного значення коефіцієнта випромінювальної спроможності об'єкта контролю від номінального дає можливість суттєво підвищити точність вимірювання температури безконтактним методом.*

**Ключові слова:** *точність вимірювання температури, прилади інфрачервоної техніки*

*В статье рассматриваются вопросы повышения точности измерения температуры с помощью приборов инфракрасной техники. Показано, что учет отклонения действительного значения коэффициента излучательной способности поверхности объекта контроля от номинального дают возможность повысить точность измерения температуры бесконтактным методом.*

**Ключевые слова:** *точность измерения температуры, приборы инфракрасной техники*

*The article deals with improving the accuracy of the measuring the temperature using infrared imaging devices. It is shown that taking into account the deviation of the actual values of emissivity of the surface of the object from the nominal control make it possible to improve the accuracy of contactless method of the measuring the temperature.*

**Keywords:** *the accuracy of the measuring the temperature, infrared imaging devices*

В последнее время интерес к применению приборов инфракрасной техники в различных отраслях существенно возрос. Это, в первую очередь, связано с тем, что температура, как количественный показатель внутренней энергии тел, является универсальной характеристикой объектов и процессов физического мира, в котором непрерывно происходит генерация, превращение, передача, накопление и применение энергии в различных ее формах. В это же время, проблема энергосбережения в Украине на сегодняшний день является особенно актуальной [1].

Учитывая, что промышленная деятельность сопровождается безвозвратными потерями тепловой энергии, анализ тепловых процессов (потерь тепла, температурных полей и п.т.) позволяет получить разнообразную информацию относительно состояния объектов и протекания физических процессов в природе, энергетике, промышленности и строительстве [2].

Проблеме применения бесконтактного метода измерения температуры с помощью приборов инфракрасной техники посвящено большое количество работ, как отечественных авторов, так и зарубежных. Среди них можно

отметить О. Н. Будадина, А. И. Потапова, В. И. Калганова, В. В. Клюева, В. Н. Фелино, В. П. Вавилова, А. Г. Климова, Т. Е. Троицкого-Маркова, М. И. Щербакова, С. А. Бажанова, А. В. Крюкова, Petersson, J. Hart, S. Kimothi, E. Grinzato и др. Все они отмечают преимущества тепловизионного метода, среди которых можно отметить информативность, дистанционность, высокая скорость проведения работ, мобильность аппаратуры, безопасность, отсутствие необходимости выведения объекта контроля из эксплуатации [3-5]. Однако, несмотря на перспективность, применение такого метода ограничивается определенными трудностями, которые зачастую приводят к существенному снижению точности измерения.

Известно, что мощность излучения, достигающего чувствительного элемента приборов инфракрасной техники, 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 [1]. Эта физическая величина характеризуется коэффициентом излучательной способности, значение которого для поверхности каждого конкретного объекта является индивидуальным.

В том случае, когда коэффициент излучения объекта контроля является известным, его фактическая температура может быть рассчитана по формуле [6]:

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

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.

Были проведены исследование влияние ошибки в задании коэффициента излучательной способности на точность бесконтактного метода измерения температуры. Проводились одновременные измерения температуры поверхности объектов контроля, изготовленных из различных материалов, бесконтактным методом с помощью тепловизора Fluke Ti9 и контактным методом с помощью термопары ТХА. Показания, полученные с помощью термопары, принимались в качестве действительных значений температуры.

При расчетах фактической температуры поверхности объекта контроля в качестве значение коэффициента излучательной способности в первой серии экспериментов применяли справочные данные, а во второй – измеренное значение коэффициента излучательной способности.

Определение коэффициента излучательной способности проводили следующие способом. На характерной зоне исследуемой поверхности без температурных аномалий выбирались реперные точки, температуры в которых должны быть измерены контактным термометром. В этих же точках измеряли температуру тепловизором при заранее установленных параметрах съемки (отраженной температуре фона, температуре и влажности атмосферы, расстоянии до объекта контроля). При наличии разницы между значениями температур, измеренных контактным и бесконтактным методами, с панели тепловизора подбирали такое значение коэффициента излучения поверхности, которое сводит эту разницу к нулю. Полученное таким образом значение коэффициента излучения принимали за характеристику поверхности в данной зоне и использовали в дальнейшей тепловизионной съемке. Результаты исследований приведены на рис. 1 и 2.

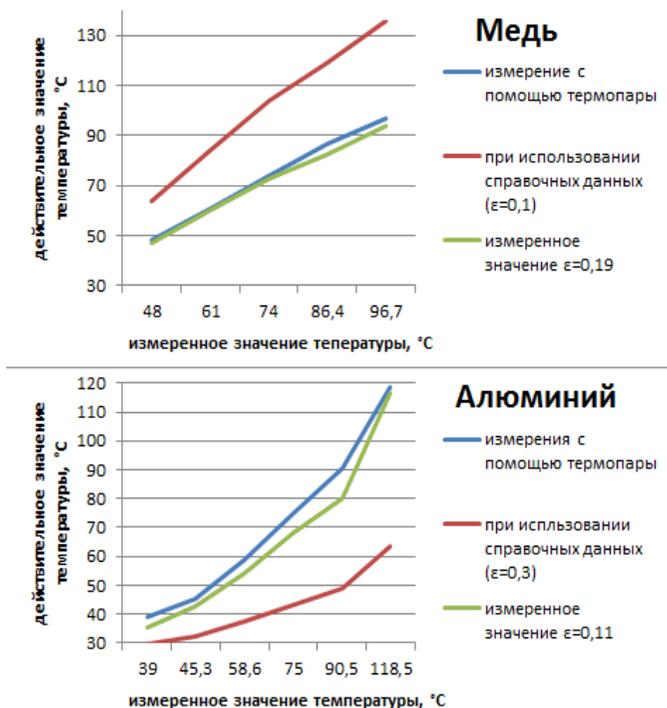


Рисунок 1 – Влияние коэффициента излучательной способности на точность бесконтактного метода измерения температуры меди и алюминия

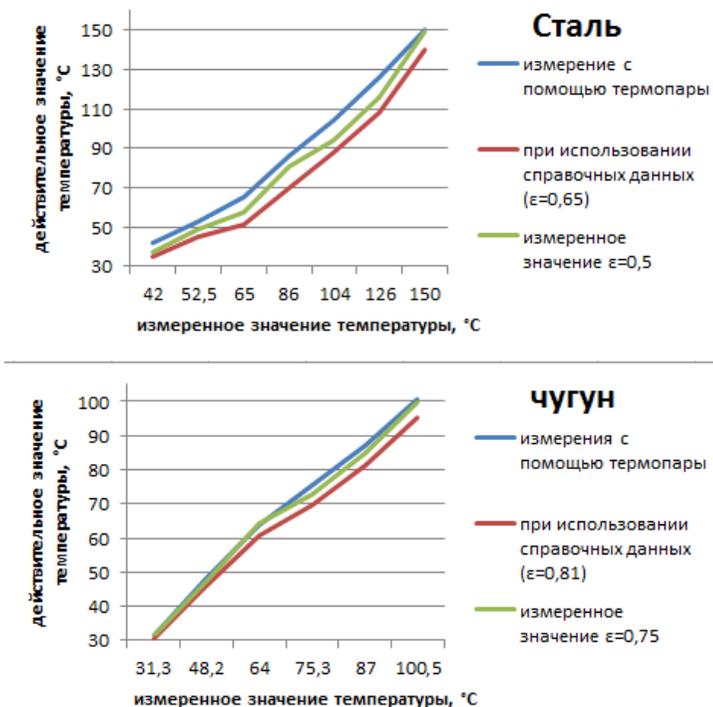


Рисунок 2 – Влияние коэффициента излучательной способности на точность бесконтактного метода измерения температуры стали и чугуна

Из рис. 1 и 2 видно, что точность измерения температуры существенным образом зависит от правильности указания коэффициента излучательной способности, который в свою очередь является функцией температуры исследуемого участка поверхности и заранее неизвестного коэффициента излучения, зависящего от материала, состояния поверхности объекта контроля и направления, в котором наблюдается излучающая поверхность.

Составляющая неопределенности измерения температуры приборами инфракрасной техники, вызванная ошибкой в задании коэффициента излучательной способности относится к неопределенности по типу В, которую можно рассчитать по формуле:

$$u_B = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2} u_B^2(x_i) \quad (2)$$

где  $\left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)$  – частные производные функции  $f$  по аргументам  $x_i$ .

Учитывая (1) и взяв производные, получаем:

$$u_{BT} = \sqrt{\frac{1}{\sqrt{\epsilon}} \cdot u_{BTрад}^2 + \frac{T_{рад}^2}{16\sqrt{\epsilon^5}} \cdot u_{Вс}^2}, \quad (3)$$

где  $U_{BTрад}$  – неопределенность измерения тепловизором ;  $U_{Вс}$  – неопределенность установления коэффициента излучательной способности.

Расчеты показали, что неопределенность измерения температуры бесконтактным методом может превышать 30 %, что, безусловно, является недопустимым.

Показано, что, несмотря на преимущества бесконтактного метода измерения температуры, его применение связано с определенными трудностями, которые зачастую приводят к существенному снижению точности измерения. Учет отклонения действительного значения коэффициента излучательной способности поверхности объекта контроля от номинального дают возможность повысить точность измерений температуры с помощью приборов инфракрасной техники.

**Список использованных источников:** 1. *Оборський Г.О., Левинський О.С., Голофеева М.О.* Дослідження впливу випромінювальної здатності матеріалів на точність тепловізійного методу контролю // Технологический аудит и резервы производства - №2/3(28), 2016. – С. 4-7. 2. *Вавилов В.П.* Инфракрасная термография и тепловой контроль – М.: ИД Спектр, 2009 – 544 с. 3. *D.S. Prakash Rao* Infrared thermography and its applications in civil engineering. The Indian Concrete Journal. – May 2008 – P. 41-50/ 4. *K. Valancius* Transicnt heat conduction process in multilayer wall under the influence of solar radiation // Improving human potential program / Proceedings, 2002, Almeria, Spain: PSA. – P. 179-185. 5. *Госсорг, Ж.* Инфракрасная термография. Основы. Техника. Применение – М. : Мир, 1988 – 416 с. 6. *Енюшин В.Н., Крайнов Д.В.* О влиянии излучательной способности поверхности исследуемого объекта на точность измерения температур при тепловизионном обследовании // Известия КТАСУ – №1 (23), 2013. – С. 99-103.

**Bibliography (transliterated):** 1. *Obors'kij G.O., Levins'kij O.S., Golofeeva M.O.* Doslidzhennja vplivu viprominjival'no'i zdatnosti materialiv na tochnist' teplovizijnogo metodu kontrolju // Tehnologicheskij audit i rezervy proizvodstva - №2/3(28), 2016. – S. 4-7. 2. *Vavilov V.P.* Infrakrasnaja termografija i teplovoj kontrol' – М.: ID Spektr, 2009 – 544 s. 3. *D.S. Prakash Rao* Infrared thermography and its applications in civil engineering. The Indian Concrete Journal. – May 2008 – P. 41-50/ 4. *K. Valancius* Transicnt heat conduction process in multilayer wall under the influence of solar radiation // Improving human potential program / Proceedings, 2002, Almeria, Spain: PSA. – R. 179-185. 5. *Gossorg, Zh.* Infrakrasnaja termografija. Osnovy. Tehnika. Primenenie – М. : Mir, 1988 – 416 s. 6. *Enjushin V.N., Krajnov D.V.* O vlijanii izluchatel'noj sposobnosti poverhnosti issleduemogo ob'ekta na tochnost' izmerenija temperatur pri teplovizionnom obsledovanii // Izvestija KTASU – №1 (23), 2013. – S. 99-103.