

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИБОРАМИ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕХНИКИ

*Левинский А.С., Голофеева М.А. Levynskiy A.S., Golofeeva M.A. The method of the improvement of the accuracy of infrared temperature measurements by instruments of infrared technique.* В статье рассматривается вопрос повышения точности измерения температуры бесконтактным методом с помощью приборов инфракрасной техники. Основным вопросом, который возникает при расчетах температур по результатам тепловизионных измерений является ошибка в задании излучательной способности поверхности исследуемых объектов. Рассматривается влияние угла наблюдения на погрешность измерения.

**Введение.** При проведении исследований с помощью приборов инфракрасной техники существенное значение имеет выявление и устранение систематических и случайных ошибок, оказывающих влияние на результат измерения и характеризует сомнение в достоверности результата измерения [1].

Основным вопросом, который возникает при расчетах температур по результатам тепловизионных измерений является ошибка в задании излучательной способности поверхности исследуемых объектов [2]. Эта физическая величина характеризуется коэффициентом излучения поверхности, значение которого для поверхности каждого конкретного объекта индивидуален и зависит от материала и состояния обработки поверхности.

**Материалы и результаты исследования.** При наблюдении объекта исследования, приборы инфракрасной техники воспринимают инфракрасное излучение, которое является результатом наложения трех явлений [3]:

- объект наблюдения отражает часть энергии излучения, испускаемого окружающей средой;
- если объект наблюдения частично прозрачен, он пропускает часть излучения фона;
- температура объекта наблюдения 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 излучениях [4].

Важной проблемой бесконтактного метода измерения температуры является то, что тепловое излучение нагретых тел зависит не только от температуры и спектрального диапазона, но и от излучательных свойств поверхности объекта исследования. Такие свойства характеризуются коэффициентом излучения поверхности, значение которого для поверхности каждого конкретного объекта является индивидуальным, зависящим от материала, состояния поверхности объекта контроля и направления, в котором наблюдается излучающая поверхность.

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.

Довольно частой причиной отклонения фактического значения коэффициента излучательной способности от заданного является ошибочно выбранный угол наблюдения поверхности объекта контроля, существенно влияет на исследуемый коэффициент. Указанная неоднозначность приводит к методической погрешности измерения, которая является следствием отражения волн на границе раздела двух различных сред и приводит к необходимости проведения термографии поверхности объекта контроля с разных ракурсов и увеличению времени, необходимого на проведение исследований[4].

При измерении температуры с помощью приборов инфракрасной техники методические погрешности измерения могут превышать инструментальные в десятки раз. Поэтому, поскольку объекты контроля обычно имеют сложную форму, возможность учета влияния угла наблюдения на точность бесконтактного метода измерения температуры имеют существенную ценность.

Для металлов коэффициент излучательной способности является неизменным в интервале углов наблюдения 0 ... 40°, для диэлектриков - в интервале углов 0 ... 60°. За пределами этих диапазонов коэффициент излучательной способности существенно меняется при направлении

наблюдения по касательной [3]. В результате, эффективный коэффициент излучения неплоских поверхностей разный в различных точках поверхности.

Фактическое значение коэффициента излучательной способности может быть рассчитано по формуле:

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

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

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

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

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:

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

Были проведены исследования влияния угла наблюдения на точность измерения температуры изделия из стали (рис. 1) и композиционного полимера (рис. 2) с помощью приборов инфракрасной техники.

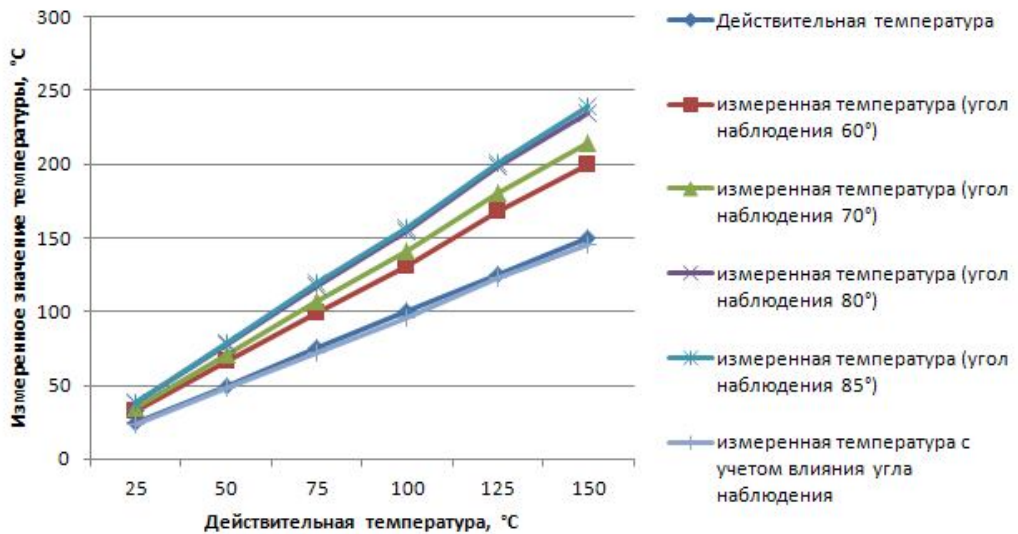


Рисунок 1 – Влияние угла наблюдения на точность измерения температуры стали тепловизором

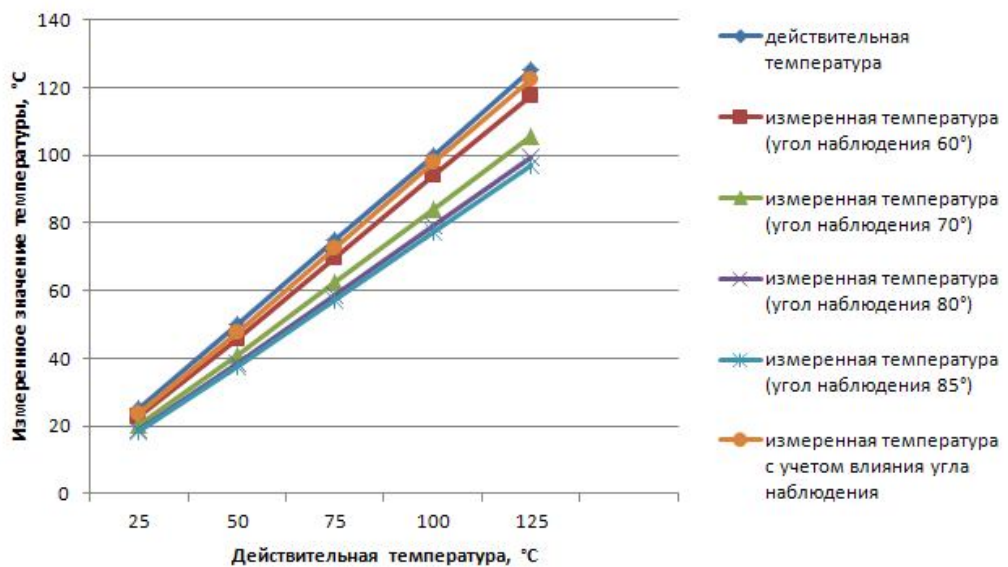


Рисунок 2 – Влияние угла наблюдения на точность измерения температуры композиционного полимера тепловизором

Из рисунков видно, что с увеличением угла наблюдения погрешность измерения температуры увеличивается. Максимальное значение относительной погрешности измерения температуры при угле наблюдения в 85° для стали составляет 57 %, а для композиционного полимера 22 %. Такое существенное значение погрешности делает измерения бессмысленными. В тоже время, учет влияния угла наблюдения на точность измерения дает возможность свести значение

абсолютной погрешности измерения температуры с помощью приборов инфракрасной техники до нескольких градусов, что в относительной форме не превышает 1 %.

**Выводы** Показано, что ошибки в установлении коэффициента излучательной способности существенно влияют на точность измерения температуры с помощью приборов инфракрасной техники. Проведены исследования влияния угла наблюдения на точность измерения температуры изделия из стали и композиционного полимера бесконтактным методом. Анализ результатов исследований показал, что при изменении угла наблюдения, погрешности измерения температуры тепловизором могут превышать 50 %, что делает измерения бессмысленными. Предложены зависимости, позволяющие свести значение абсолютной погрешности измерения температуры с помощью приборов инфракрасной техники до нескольких градусов, что в относительной форме не превышает 1 %.

#### *Литература*

1. *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.
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. *Левинский А.С.* К вопросу повышения точности бесконтактного метода измерения температуры / *А.С. Левинский, М.А. Голофеева* // Сборник статей научно-информационного центра «Знание» по материалам XV международной заочной научно-практической конференции: «Развитие науки в XXI веке» 1 часть, г. Харьков: сборник со статьями (уровень стандарта, академический уровень). – Х. : научно-информационный центр «Знание», 2016. – С. 89-92 ISSN: 6827-0151

**В збірник включено наукові праці за секціями:**

Автоматизація і комп'ютерні технології

Актуальні проблеми науки та освіти: теорія, практика,  
сучасні рішення

Математичні методи в механіці, економіці, екології

Метрологія, стандартизація та сертифікація

Нові інформаційні технології в освіті та природничо-математичних  
науках

Розвиток соціально-економічних систем в трансформаційних умовах

Сучасні системи автоматизованого проектування

Технології, матеріали, транспорт і логістика

Управління, автоматизація і довколишнє середовище

Управління проектами та якістю

Штучний інтелект. Інтелектуальні системи