

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ТРЕХЗОНАЛЬНЫЙ ТЕПЛОВИЗОР ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ИТ-3СМ

**В. А. Фираго, Н. В. Левкович, О. В. Тягунов, И. А. Сакович,
С. Н. Семенович, И. П. Стецко**

*Белорусский государственный университет
Минск, Беларусь
e-mail: izmer@bsu.by*

Приведено описание основных достоинств и функциональных возможностей высокотемпературного трехзонального тепловизора ИТ-3СМ, разработанного в Белорусском государственном университете.

Ключевые слова: термовизор; термограф; пирометрия; бесконтактное измерение температуры; коэффициент теплового излучения; истинная температура.

HIGH TEMPERATURE AND RESOLUTION THREE-ZONE THERMAL IMAGER IT-3SM

**V. A. Firago, N. V. Levkovich, O. V. Tiagunov, I. A. Sakovich,
S. N. Semenovich, I. P. Stetsko**

*Belarussian State University
Minsk, Belarus*

This article provides the description of main advantages and functional opportunities of the high temperature three-zone thermograph (thermal imager) IT-3SM, developed in the Belarusian State University.

Keywords: thermal imagers; thermograph; pyrometry; non-contact temperature measurement; thermal radiation coefficient; true temperature.

В условиях высокой конкуренции между производителями в сфере машиностроения особое внимание в последние годы уделяется качеству выпускаемой продукции. Одним из важных условий для повышения качества изготовления деталей и их долговечности, снижения себестоимости продукции является прецизионный контроль температуры критических звеньев технологических процессов обработки металлов (литья,ковки, штамповки, закалки, лазерной резки и др.).

Наиболее удобными для практического контроля термических процессов в сфере машиностроения являются бесконтактные методы определения температуры, основанные на регистрации теплового излучения, испускаемого обрабатываемой поверхностью.

Для эффективного использования тепловизоров должны быть обеспечены основные принципы снижения неопределенности измерения истинной температуры T [1–3]:

- возможность автоматической оценки эффективного коэффициента излучения $\varepsilon_{\text{эф}}$ и, соответственно, измерения истинной температуры T ;
- минимизация неопределенности результатов измерения температуры, достигаемая за счет оптимального выбора спектральных участков регистрации теплового излучения и исключения влияния отклонения градуировочных кривых от расчетных зависимостей;
- определение максимальной температуры тела и ее зависимости от времени, а также видеозапись температурного поля, что необходимо при контроле многих динамических теплотехнических процессов;
- инвариантность результатов определения максимальной температуры T_{max} к изменению размеров изображения контролируемых тел;
- инвариантность измеряемых значений T_{max} к нестационарности дисперсии шумов используемой матрицы фотоприемников, т. е. зависимости ее шумов от величины падающего потока теплового излучения.

Реализация такого подхода в аппаратное и программное обеспечение созданного в Белорусском государственном университете компьютеризированного высокотемпературного трехзонального тепловизора ИТ-3СМ позволила обеспечить расширение функциональных возможностей прибора по сравнению с зарубежными аналогами. Тепловизор ИТ-3СМ предназначен для наладки разнообразных термических процессов обработки изделий из черных металлов и способен измерять температуру в двух температурных диапазонах: от 800 до 1500 °С или от 1500 до 3000 °С. Общий вид разработанного прибора показан на рисунке.



Общий вид высокотемпературного трехзонального тепловизора ИТ-3СМ

Функциональные возможности тепловизора ИТ-3СМ значительно расширены по сравнению с традиционными пирометрами частичной радиации и спектрального отношения, а также обычной тепловизионной техникой. Его основные отличительные особенности:

- регистрация теплового излучения в трех участках спектра, что позволяет в автоматическом режиме определять эффективный коэффициент теплового излучения контролируемого объекта и определять истинную температуру (серийно выпускаемых аналогов среди пирометров и тепловизоров нет);

- два широких диапазона измеряемых температур (800–1500 и 1500–3000 °С), оптимизированные для разнообразных задач термической обработки конструкционных материалов;

- способность измерять истинную температуру поверхности нагреваемых деталей через окошки и небольшие отверстия (обеспечена инвариантность к размерам объектов);

- возможность измерения истинной температуры при наличии больших пятен окисления (внедрена функция определения максимальной температуры T_{\max});

- низкая неопределенность измерения истинной температуры, обеспеченная оптимальным выбором спектрального диапазона регистрации теплового излучения, используемым методом двойной градуировки (по модели АЧТ и эталонному вольфрамовому излучателю) и способностью определять эффективный коэффициент излучения;

- регистрация видеозаписи температурного поля с возможностью ее последующего кадрового просмотра, что актуально при наладке быстропротекающих динамических процессов;

- способность построения графических временных температурных зависимостей в нескольких точках объекта, выбранных оператором, и просмотра распределения температуры вдоль выбранного направления.

Предусмотрена возможность определения двух условных температур, используемых в пирометрии: температур частичной радиации T_r и спектрального отношения T_{sr} [2, 4, 5]. Они используются при отсутствии сведений о величине эффективных коэффициентов теплового излучения поверхности контролируемого тела в используемых участках спектра. Если эти коэффициенты заранее известны, их можно ввести самостоятельно с помощью клавиатуры. При их использовании измеряется истинная температура поверхности тела T . Предусмотрена опция автоматического определения эффективного коэффициента теплового излучения ε_2 .

Совокупность заложенных в ИТ-3СМ функций: наличие цветного палитрового видеоизображения температурного поля нагреваемых изделий с информативной шкалой температур, его разнообразных сечений, вывод на экран максимального значения T ; удобство оперативного выбора диапазона температур, воспроизводимых на цветном изображении, возможность построения временных графических зависимостей температуры в нескольких точках поля и осуществления записи-воспроизведения регистрируемого процесса, что позволяет проводить объективный анализ энергоэффективности сложных высокотемпературных теплотехнических процессов и создавать их документированные протоколы [2, 5].

ИТ-3СМ состоит из цифровой видеокамеры специального назначения, регистрирующей тепловое излучение в трех перекрывающихся зонах спектра, которые лежат в диапазоне 630–830 нм, и управляющего компьютера (для удобства применения – типа «ноутбук») [2, 5]. Выбор компьютера в качестве блока обработки получаемых тепло-

вых изображений и индикации их температурных полей был обусловлен следующими причинами:

- необходимостью ведения видеозаписей температурного поля контролируемых процессов с различной длительностью (от нескольких секунд до нескольких десятков минут), что требует наличия запоминающих устройств с большой емкостью;
- сложностью алгоритмов обработки тепловых изображений, расчета температурных полей и их немедленного вывода на экран;
- требованием обеспечить регистрацию динамических процессов, т. е. высокую скорость (до 30 кадров/с) обработки и индикации регистрируемых тепловых полей;
- необходимостью создания интуитивно понятного и простого для восприятия пользователями графического интерфейса программы работы тепловизора с поддержкой вывода получаемой информации в графическом виде;
- приемлемой стоимостью и широкими функциональными возможностями современных ноутбуков.

На первый взгляд, моноблочная конструкция тепловизоров, используемая ведущими мировыми производителями, предпочтительнее из-за большей мобильности прибора и удобства его использования оператором. Однако разработка прибора в таком исполнении – сложный и дорогостоящий путь, способный окупиться только при массовых объемах продаж. К тому же характеристики аппаратного ядра цифровой обработки данных быстро «устаревают». Характеристики же и функциональные возможности стандартных устройств вычислительной техники постоянно совершенствуются при одновременном снижении их стоимости.

Программное обеспечение тепловизора ИТ-3СМ имеет интуитивно понятный пользовательский интерфейс, не требующий больших временных затрат на его освоение и облегчающий процесс определения температурного поля. Стоимость высоко-температурного тепловизора ИТ-3СМ приближается к стоимости пирометров при несопоставимо более высокой эффективности применения. За счет оптимизации сложных термических процессов, исключения брака и соответствующей экономии дорогостоящих энергоресурсов обеспечивается быстрая окупаемость ИТ-3СМ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Пирометрический контроль температуры нагреваемых металлов на предприятиях машиностроения / В. А. Фираго [и др.] // Контроль. Диагностика. 2011. № 5. С. 17–25.
2. Firago V., Wojcik W. High-temperature three-colour thermal imager // Przegląd Elektrotechniczny. ISSN 0033-2097. R. 91. NR 2/2015. P. 208–214.
3. Firago V., Wojcik W., Volkova I. Decrease of the temperature measurement uncertainty in tricoloured thermography // New Electrical and Electronic Technologies and their Industrial Implementation: proceedings of the 9th Intern. Conf. NEET 2015. P. 117.
4. Разработка критериев выбора термометрического оборудования, создание аппаратных средств и методик их применения для теплового неразрушающего контроля и технической диагностики производственных объектов и технологических процессов : отчет о НИР № 441/13 (заключ.) / В. А. Фираго [и др.]. Минск : БГУ, 2013. № ГР 20114338.
5. Разработка высокоинформативных методов теплового неразрушающего контроля и критериев эффективности энергосберегающих теплоизоляционных материалов и покрытий : отчет о НИР № 452/13 (заключ.) / В. А. Фираго [и др.]. Минск : БГУ, 2015. № ГР 20142741.