

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТРЕХЗОНАЛЬНОГО ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ТЕРМОГРАФА ИТ-3СМ

В. А. Фираго

Белорусский государственный университет, Минск

E-mail: firago@bsu.by

Для снижения энергозатрат и обеспечения качества продукции, производимой машиностроительными предприятиями, необходима тщательная оптимизация энергоемких термических процессов: нагрева, штамповки,ковки, закалки, отпуска, газопламенной наплавки и т. д. В большинстве термических процессов температуру нагрева деталей можно контролировать только бесконтактными методами с помощью пирометров частичного излучения или спектрального отношения. Недостатки, присущие пирометрической аппаратуре, приводят к существенной неопределенности получаемых значений истинной температуры T [1, 2]. Поэтому специалисты, занимающиеся оптимизацией сложных термических процессов, начинают оценивать возможности и эффективность применения тепловизионной техники при их наладке.

В пирометрах и тепловизорах энергия теплового излучения контролируемого тела преобразуется в электрические сигналы, которые пропорциональны входному потоку $\Phi_{об}(T)$, попадающему на объектив, пропусканию объектива $\tau_{об}$, площади входного зрачка объектива, а также зависят от спектральной чувствительности фотоприемников, пропускания используемых оптических фильтров и т. д. Температура определяется путем сопоставления величины зарегистрированного сигнала с градуировочной зависимостью пирометра или тепловизора, полученной при использовании эталонного излучателя – модели абсолютно черного тела. Неопределенность величины эффективного коэффициента теплового излучения $\epsilon_{эф}$ нагреваемых изделий вносит основной вклад в погрешность определения истинной температуры пирометрической и тепловизионной техникой различного спектрального диапазона [2, 3].

Основные принципы снижения неопределенности измерения истинной температуры, которые необходимо соблюдать при проектировании современной тепловизионной техники, приведены в [3]. Их внедрение в конструкцию и программное обеспечение отечественного высокотемпературного трехзонального термографа ИТ-3СМ, созданного в Белорусском государственном университете, позволило обеспечить расширение его функциональных возможностей по сравнению с зарубежными аналогами. Поскольку ИТ-3СМ создавался для наладки разнообразных термических процессов обработки изделий из черных металлов, диапазон из-

меряемых им температур составляет 800–1700 °С. Его общий вид показан на рис. 1.

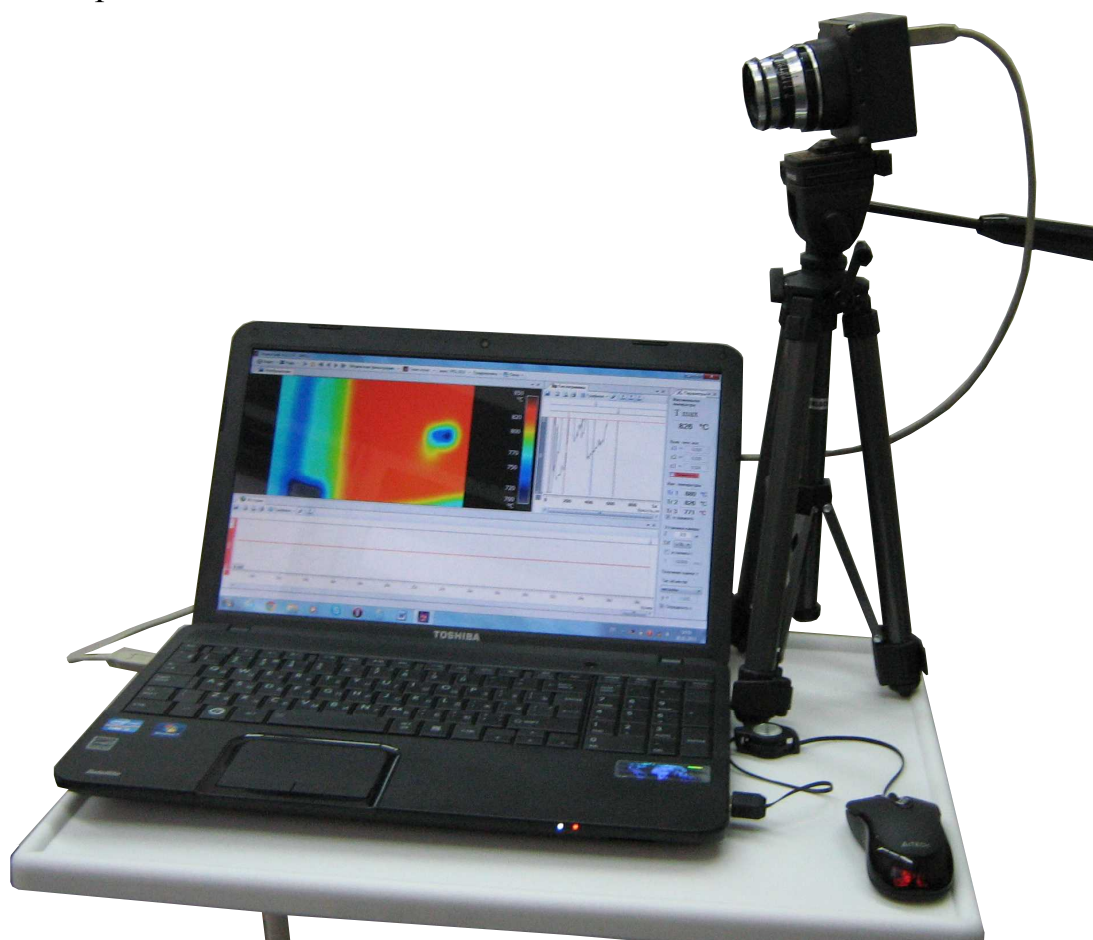


Рис. 1. Общий вид высокотемпературного трехзонального термографа ИТ-3СМ

Термограф ИТ-3СМ состоит из цифровой видеокамеры специального назначения, регистрирующей тепловое излучение в трех перекрывающихся зонах спектра, которые лежат в диапазоне 630–830 нм, и стандартного ноутбука. Выбор ноутбука в качестве блока обработки получаемых тепловых изображений и индикации их температурных полей было обусловлено 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 пользователей графического интерфейса программы работы термографа 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 их производителями предпочтительнее. Но разработка такого исполнения дорогостоящая задача. Стоимость же ноутбуков, а в перспективе и планшетов, постоянно снижается при одновременном расширении их вычислительных функций.

Функциональные возможности термографа ИТ-3СМ значительно расширены по сравнению с традиционными пирометрами частичной радиации и спектрального отношения, а также обычной тепловизионной техникой. Его 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);

- один широкий диапазон измеряемых температур 800–1700 °С, оптимизированный для разнообразных задач термической обработки черных металлов;

- 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 окалины (внедрена функция определения максимальной температуры T_{\max});

- низкая неопределенность измерения истинной температуры, обеспеченная оптимальным выбором спектрального диапазона регистрации теплового излучения и способностью определять эффективный коэффициент излучения;

- регистрация видеозаписи температурного поля с возможностью его последующего покадрового просмотра, что актуально при наладке быстропротекающих динамических процессов (например, время выгрузки корзины с закаливаемыми деталями из газовой печи около 5 с, из-за этого детальный визуальный анализ температурного поля практически невозможен);

– способность построения графических временных зависимостей температуры в нескольких точках объекта, выбранных оператором, и просмотра распределение температуры вдоль выбранного направления.

Предусмотрена возможность определения двух условных температур, используемых в пирометрии: *температур частичной радиации* T_r и *спектрального отношения* T_{sr} . Они используются при отсутствии сведений о величине эффективных коэффициентов 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 . Предусмотрены возможность автоматического приблизительного определения эффективных коэффициентов теплового излучения ε_1 , ε_2 и ε_3 .

Совокупность заложенных в ИТ-ЗСМ функций и наличие цветного палитрового видеоизображения температурного поля нагреваемых изделий с удобным выбором диапазона температур, воспроизводимых на цветном изображении, позволяют проводить объективный анализ энергоэффективности сложных высокотемпературных теплотехнических процессов и создавать их документированные протоколы.

Разработчики термографической техники стараются создавать интуитивно понятное программное обеспечение процесса определения температурного поля, которое было бы удобным в применении и не требовало больших затрат времени на его освоение. Поэтому специалисты машиностроительных и металлургических предприятий должны смелее идти на ее внедрение, поскольку стоимость высокотемпературных термографов приближается к стоимости пирометров, при несопоставимой эффективности применения. Убедительным аргументом является и быстрая окупаемость термографической техники, используемой для оптимизации сложных термических процессов, за счет исключения брака и соответствующей экономии дорогостоящих энергоресурсов.

1. *Фираго В. А., Сеньков А. Г., Савкова Е. Н., Голуб Т. В.* // Контроль. Диагностика. 2011, № 5. С. 17–25.
2. *Firago V., Wojcik W.* // Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 91 NR 2/2015, P. 208–214.
3. *Фираго В. А.* // Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики и физики конденсированного состояния: Матер. 3-ей Международной научно-практической конференции, Мн.: НИИПФП, 28–29 апреля 2015 г. С. 115–117.
4. *Фираго В. А.* // Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики и физики конденсированного состояния: Матер. 3-ей Международной научно-практической конференции, Мн.: НИИПФП, 28–29 апреля 2015 г. С. 118–120.