

А.П. ДАВИДЕНКО, канд. техн. наук, проф. кафедры НТУ "ХПИ"
В.Н. СЛАВКОВ, аспирант НТУ "ХПИ"

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР ЦИФРОВЫМ ФОТОАППАРАТОМ

Розглянуті питання застосування цифрового фотоапарата для дослідження температурних полів об'єктів. Виділені та описані основні фактори, що впливають на представлений спосіб дослідження за допомогою цифрового фотоапарата. Запропоновано способи зменшення впливу описаних факторів і показані перспективи подальших досліджень у даному напрямку.

Consider the use of a digital camera to investigate the temperature fields of objects. Highlighted and described the main factors that affect the way the study presented with a digital camera. Ways of reducing the impact of the factors described and shown for further research in this direction.

Постановка проблеми. В энергетике, машиностроении, чёрной и цветной металлургии, химической, пищевой, текстильной промышленности в ряде производственных технологических процессов при исследовании теплофизических свойств объектов и неразрушающем контроле требуется дистанционный контроль температурных полей [1].

В настоящее время, в качестве современных специализированных бесконтактных средств измерений температурных полей объектов выступают пирометры и тепловизоры, в состав которых входят ПЗС матрицы, используемые в качестве светочувствительного элемента. Данные матрицы имеют очень широкий круг применения в самых различных оптоэлектронных устройствах для регистрации изображения, таких как цифровые фотоаппараты, видеокамеры, сканеры [2].

Пирометры дают интегральную оценку температуры объекта в пределах пятна визирования, а исследование температурных полей объектов с помощью тепловизоров, приводит к затратам в размере от 3 до 100 тысяч долларов. Однако существует метод исследования, основанный на фотографировании высокотемпературных полей с помощью цифрового фотоапарата, который позволяет произвести обработку цифровых температурных картин и получить характеристики распределения температур на поверхности объекта, выявить дефекты, присутствующие на поверхности, нарушения однородности, определить теплофизические свойства материала.

Анализ литературы. Способ исследования, основанный на использовании цифрового фотоапарата, практически не рассматривается в научных и периодических изданиях в области теплотехники и средств измерений температуры. Существуют работы показывающие возможность применения этого метода и направленные на оценку его метрологических характеристик [3].

Цель статьи – заключается в выделении и описании основных факторов, которые оказывают влияние на определение метрологических характе-

ристик метода исследования, основанного на фотографировании высокотемпературных полей с помощью цифрового фотоаппарата.

Анализ факторов влияния. В результате проведения исследований и постановки ряда экспериментов по получению и обработки цифровых температурных картин, можно выделить следующие основные факторы, которые оказывают влияние на данный способ исследования:

- спектральные характеристики ПЗС, применяемых в фотоаппарате;
- спектральные характеристики оптических элементов фотоаппарата;
- алгоритм обработки изображения, заложенный в фотоаппарате, а также функциональные возможности настройки фотоаппарата;
- свойства среды находящейся между фотоаппаратом и нагретым объектом исследования;
- свойства поверхности, а также внутренние свойства объекта, который подвергается нагреванию.

Для определения яркостной температуры необходимо провести измерение яркости на одной длине волны [4]. Выбор длины волны обусловлен возможностями детектора и спецификой измеряемого объекта. Современные цифровые аппараты имеют высокую чувствительность в видимой области спектра 400-700 нм. В исследованиях использовался цифровой фотоаппарат марки Samsung PL-60, детектор оптического излучения которого представляет собой ПЗС матрицу, спектральная характеристика (без учёта спектральной характеристики объектива и спектральной характеристики оптического излучения) представлена на рис. 1.

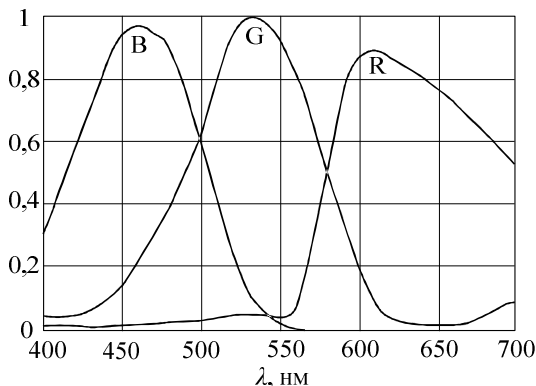


Рис. 1. Спектральные характеристики чувствительности ПЗС *Samsung PL60*
B – чувствительность синего канала; *G* – чувствительность зелёного канала;
R – чувствительность красного канала

При измерениях температур в диапазоне 600-1200 °С следует выбирать длину в красном или ближнем ИК диапазоне (550-780 нм), поскольку спектральная яркость АЧТ в этой области выше [5].

Важнейшей частью любого фотоаппарата является фотографический объектив. Современный фотографический объектив представляет собой весьма сложную оптическую конструкцию, рассчитанную с учетом всех знаний о свете как о физическом явлении [6]. Применяемый в исследовании фотоаппарат относится к классу бюджетных, поэтому не имеет сменного объектива. В конструкцию данного фотоаппарата входит стандартный набор линз *Samsung Lens*, которые обладают следующей спектральной характеристикой пропускания T (рис. 2, кривая 1). Следует отметить, что для получения изображений температурных полей объектов лучше использовать набор просветлённых линз, которые обладают более высоким коэффициентом пропускания (рис. 2, кривая 2). Такие линзы входят в состав более совершенных моделей фотоаппаратов (*Samsung NX100*).

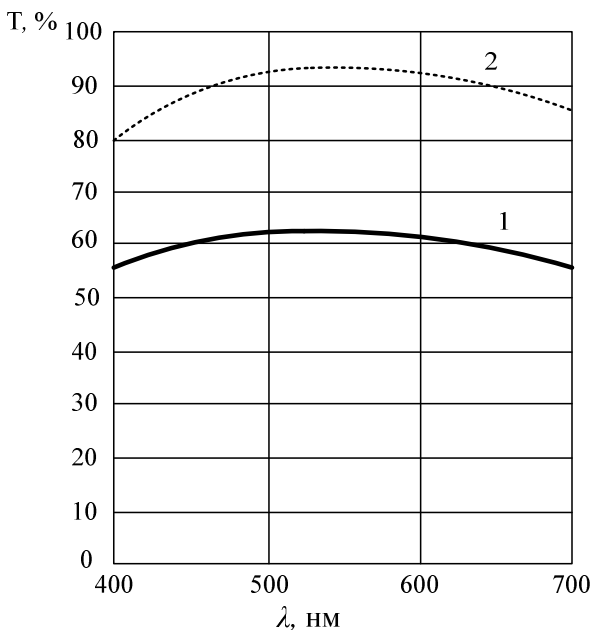


Рис. 2. Спектральная характеристика пропускания линз: 1 – кривая пропускания линз *Samsung PL60*; 2 – кривая пропускания линз *Samsung NX100*

Для проведения исследований температурных полей фотоаппарат необходимо использовать в режиме ручного управления выдержкой и диафрагмой, чувствительностью и наводкой на резкость. Необходимо иметь возможность установки фотоаппарата на штатив, для исключения вибраций во время

фотографирования. Кроме того, фотоаппарат должен обеспечивать возможность записи исходных файлов изображений температурных полей (так называемый «raw» формат) без предварительной обработки в самом фотоаппарате. Однако фотоаппарат марки *Samsung PL60* не обладает данной функцией, так как уже говорилось выше, является бюджетной моделью и запись исходных файлов происходит в формате «jpeg». Формат «jpeg» является форматом сжатия с потерями, но этот факт не оказывает влияния на дальнейшую обработку цифровых изображений температурных полей, потому как, съёмка ведётся при высоком разрешении (10М 3648×2736пк) и уровне дискретизации полученных температур по поверхности объекта вполне достаточно.

Основными факторами, которые определяют свойства среды находящейся между цифровым фотоаппаратом и исследуемым объектом является наличие запылённости в месте исследования, а также наличие различного рода паров в среде. Эти факторы приводят к ослаблению излучения от объекта. На рис. 3 представлена спектральная характеристика коэффициента поглощения K пылегазовой среды наиболее распространённых производственных технологических процессов.

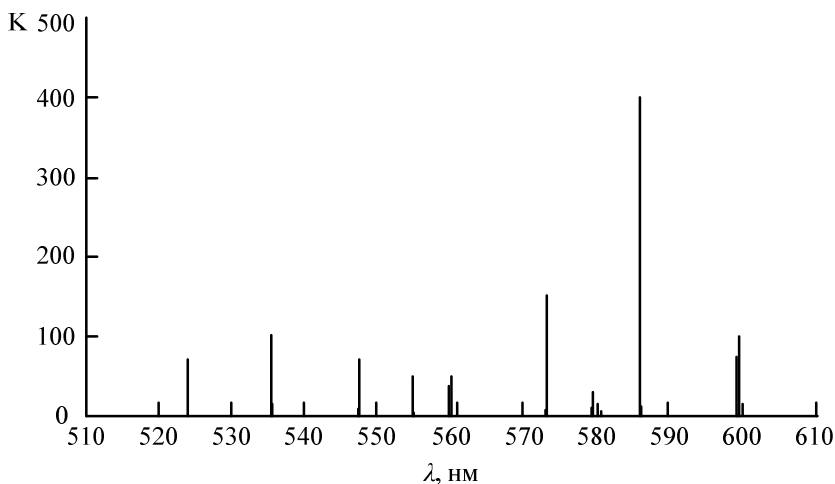


Рис. 3. Спектральная характеристика пылегазовой среды

Как уже говорилось выше, для определения яркостной температуры необходимо провести измерение яркости на одной длине волны, поэтому, чтобы избежать влияния пылегазовой среды необходимо выделить участок спектра, где поглощение практически отсутствует, так называемые «окна прозрачности». Для выделения нужного участка длин волн, возможно, использовать узкополосный интерференционный светофильтр. При использовании

фильтров воздействие пылегазовой среды сводится к минимуму при условии попадания в «окно прозрачности».

Объект, полностью поглощающий падающее на него излучение, обладает наибольшей излучательной способностью ($\epsilon=1$) и называется «абсолютно чёрным телом». Реальные объекты, подвергающиеся нагреву, имеют излучательную способность меньше 1 и, следовательно, излучают меньше энергии. Ниже представлены зависимости спектрального коэффициента излучения различных металлов от длины волны (рис.4), а также интегрального коэффициента излучения металлов от температуры (при $\lambda=1,5\text{мкм}$) (рис. 5).

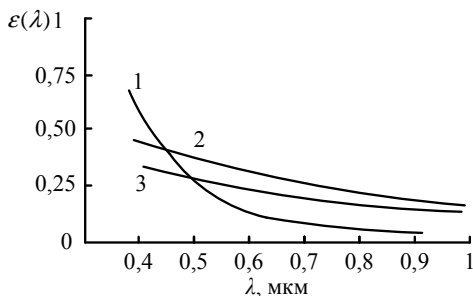


Рис. 4. Спектральный коэффициент излучения металлов: 1 – медь; 2 – железо; 3 – алюминий

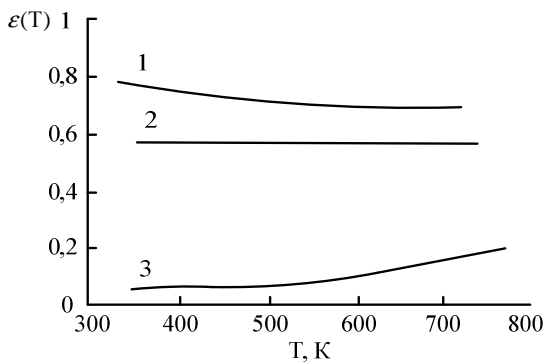


Рис. 5. Интегральный коэффициент излучения металлов: 1 – сильно окисленная медь; 2 – слегка окисленная медь; 3 – полированная медь

Кроме того, для большинства реальных исследуемых объектов излучательная способность зависит от температуры и длины волны, т.е. $\epsilon = f(\lambda, T)$, а также от многих других факторов – материала и формы объекта, состояния поверхности, наличия оксидной плёнки, конденсата, влаги, внутренних нарушений однородности и т.п.

В случае, когда значение излучательной способности реальных объектов неизвестно, следует произвести калибровку (подстройку) фотоаппарата при помощи стандартизованных средств измерения температуры.

Выводы. Таким образом, при оценке метрологических характеристик метода исследования, основанного на фотографировании температурных полей с помощью цифрового фотоаппарата существует ряд факторов, которые необходимо учитывать. В статье рассмотрены основные влияющие факторы, однако их ряд может быть расширен. Для оценки яркостной температуры необходимо учесть всех этих факторов, что представляет собой весьма сложную задачу и требует дальнейших исследований, по выбору длины волны, подбору оптимальных параметров настройки фотоаппарата для конкретных устойчивых технологических процессов. Повысить информативность данного метода возможно за счёт оценки цветовой температуры, то есть за счёт измерения отношения яркостей на двух длинах волн. На основании известной совокупности спектральных характеристик ПЗС, применяемых в фотоаппарате, оптических элементов фотоаппарата, среды находящейся между фотоаппаратом и нагретым объектом исследования, а также спектральных и интегральных коэффициентов излучения объектов можно выполнить расчёт обобщённой спектральной характеристики всей системы и с помощью соответствующей программной обработки в *MathCAD* выполнить оценку температуры объекта. Дальнейшая работа в этом направлении, заключается в разработке программного, аппаратного и метрологического обеспечения и построение на основе фотоаппарата системы дистанционного контроля температурных полей, а также дальнейшее ее внедрение в технологические процессы. Кроме этого данный метод может найти применение в научных исследованиях в области материаловедения и в неразрушающем контроле тепловыми способами.

Список литературы: 1. *Поскачей А.А., Чубаров Е.П.* Оптико-электронные системы измерения температуры. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 248с. 2. *Иванова Г.М., Кузнецов Н.Д., и др.* Теплотехнические измерения и приборы. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 232 с. 3. *Ракчеева Л.П.* Измерение температуры нагретых тел с высоким пространственным разрешением с помощью цифрового фотоаппарата. Методическое пособие., <http://www.oceanoptics.com>. 4. *Госсорг Ж.* Инфракрасная термография. Основы, техника, применение. – М.: Мир, 1988. – 416с. 5. *Преображенский В.П.* Теплотехнические измерения и приборы. – М.: «Энергия», 1978. – 704с. 6. *Волосов Д.С.* Фотографическая оптика. – М.: «Искусство», 1971. – 657с.

Статья представлена д.т.н., проф. НТУ «ХПИ» Кондрашовым С.И.

Поступила в редакцию 25.03.2010