

Термопирометрия для измерения действительной температуры

Леонид Григорьевич Дубас

УДК 536.52 PACS: 07.20.Ка «НИИ ПМТ» sudarih@gmail.com

Аннотация

Рассматривается термопирометрия для определения температуры по измерению теплового излучения.

Ключевые слова: температура, тепловое излучение, коррекция.

Введение

Бесконтактное определение температуры необходимо во многих технологиях и высокотемпературных исследованиях. Широко известны современные методы пирометрии: цветовой и яркостной.

С целью регистрации действительной температуры производится большое серийное количество цветowych и яркостных пирометров, для которых предусмотрено задание возможного коэффициента излучения или коэффициента спектрального отношения (отношение коэффициентов излучения на двух длинах волн). Чтобы вычислить или измерить коэффициент излучения или коэффициент спектрального отношения, а затем обоснованно его определить практически всегда приходится задавать коэффициент излучения приближенно. Справочные данные для коэффициента излучения относятся к ограниченному множеству материалов и для ограниченного набора температур. Измерения в технологиях и исследованиях носят приближенный характер для нестационарных объектов с малыми размерами. Отсутствие достоверности температурного результата в технологиях и исследованиях является обычным следствием приближенного характера задания коэффициента излучения или коэффициента спектрального отношения [1].

Кроме того существенным дополнением является наличие коэффициента передачи излучения или коэффициента поглощения среды в которой происходит транспортировка регистрируемого теплового излучения. Аналогично следует отметить присутствие коэффициента передачи аппаратного и программного обеспечения термопирометров при регистрации теплового оптического излучения.

Гипотетическое расширение идеи пирометра спектрального отношения на двух длинах волн есть многоволновый пирометр. Предполагается, что температура определяется по соотношению трех или больше сигналов, зарегистрированных на различных длинах волн. Также в этом случае, обычно предполагается, что проблема зависимости коэффициента излучения от длин волн может быть решена, путем описания логарифма коэффициента излучения в виде степенного ряда по степеням некоторого параметра. Следовательно, радиационный пирометр с тремя длинами волн может измерить истинную температуру, если для логарифма коэффициента излучения существует линейная функция длины волны, пирометр с четырьмя длинами волн, если логарифм коэффициента излучения - квадратичная функция длины волны и так далее. Однако чувствительность многоволнового радиационного пирометра к ошибкам измерения увеличивается с числом параметров в модели коэффициента излучения, то есть, числом длин волн. Таким образом, практическое использование таких пирометров не может быть расценено как общее решение проблемы учета коэффициента излучения, и очень существенные температурные ошибки могут проявиться даже для материалов, которые только немного отличаются от условий излучения серого тела [2].

Необходимо уменьшить влияние неопределенности коэффициента излучения нагретых объектов и коэффициента передачи излучения на результат измерений для применения термопирометрии.

От надежности и погрешности температурных измерений зависят безопасность и эффективность технологий. Качественное контактное или бесконтактное измерение температуры влияет на процент выхода готового продукта. Термометрия составляет значительную часть производственных измерений.

Выполнение исследований должно обеспечить повышение функциональной эффективности технологий и исследований. Результаты работы должны позволить применение новой технологии в следующих отраслях:

- в аэрокосмической технике,
- в атомной промышленности,
- в порошковой металлургии,
- в технологии режущего инструмента.

Описание метода

Применение термопирометрии должно быть нацелено на проектирование и создание

системы измерения, сигнализации и мониторинга действительной температуры [1-3].

Термопирометрия связана с измерительным методом – термической пирометрией (thermal pyrometry), предполагающей регистрацию мощности теплового электромагнитного излучения на многих длинах волн, определении псевдосерой температуры и дополнительной коррекции результата с учетом цветовой поправки. Предполагается, что с целью решения этой проблемы необходимо создать метод термопирометрии с целью определения температуры с уточнением реальных условий на месте измерения.

Модуль относительной погрешности измерений абсолютной температуры при этом должен быть не больше чем $\leq 2\%$.

Новизна подхода с точки зрения уменьшения погрешности заключается в использовании широкого диапазона волновых чисел, где изменения коэффициента спектрального отношения для объекта уменьшаются. Следовательно, объект в широкой коротковолновой области близок к псевдосерому излучателю с корректирующей цветовой поправкой. Для достижения этой цели следует рассмотреть реализацию системы радиометрии с помощью системы ПЗС-приемников, так как слабый регистрируемый сигнал требует накопление фотоэлектронов. При регистрации сигнала, быстро ослабляющегося при уменьшении длины волны, целесообразно в диапазоне длин волн также увеличивать и чувствительность системы фотоприемников.

Технический уровень и тенденции развития показывают, что актуальными являются следующие задачи в использовании и совершенствовании термопирометрии:

- выбор спектральных диапазонов оптического излучения, используемых для измерения температуры;
- выбор участков спектра оптического излучения внутри спектральных диапазонов, используемых для измерения температуры;
- уменьшение наложения спектров характеристического излучения от разных участков используемого поля визирования;
- уменьшение наложения спектров теплового излучения от разных участков поля визирования с различной температурой;
- совершенствование аппаратного и программного обеспечения термопирометров для обеспечения линейной зависимости сигнала от интенсивности теплового электромагнитного излучения;
- применение приборов с зарядовой связью для регистрации оптического излучения;
- применение алгоритма для измерения действительной температуры с учетом возможного влияния коэффициента спектрального отношения для объекта;

- функциональная эффективность метода может и должна быть не ниже чем эффективность методов цветовой и яркостной пирометрии в аналогичных условиях.

Вопросы термопирометрии

При измерениях часто встречаются объекты, о коэффициенте излучения которых нет никаких данных. Кроме того измерения могут сопровождаться дополнительной неопределенностью для коэффициента передачи или поглощения среды наблюдения. Трудности также возникают при выборе коэффициентов излучения и передачи для участков сложной структуры, где имеются элементы, выполненные из различных материалов. При термическом синтезе материалов из порошковых смесей непрерывно изменяются во времени химический состав и структура вещества и происходящая при этом эволюция коэффициента излучения неизвестна.

Ряд объектов существует только при высоких температурах (плазма) и, кроме того, в течение короткого времени (импульсный режим). Для таких объектов определение коэффициента излучения является сложной задачей.

При измерениях через оптические окна неизбежно запыление их продуктами технологического процесса и соответствующее изменение передачи измеряющего оптического излучения, которое вносит дополнительную погрешность измерений. Некоторая очистка окон оптического тракта измерения позволяет эпизодически восстанавливать режим измерений.

Поэтому должен быть контроль изменений коэффициентов излучения и передачи в процессе проведения пирометрических измерений.

Часто коэффициенты излучения и передачи объектов неизвестны, даже если они выполнены из хорошо изученных материалов, если в справочниках приводят данные, относящиеся к другим условиям измерений.

В простой оптической пирометрии, использующей одну или две длины волны, как правило, не используется проверка спектральной непрерывности и теплового характера излучения объекта.

При регистрации электромагнитного поля в поле визирования пирометра возможно наложение нескольких спектров теплового излучения от источников с различной температурой. При расчетах температуры необходимо устранить наложение спектров теплового излучения с целью идентификации с отдельным объектом в поле визирования пирометра конкретного значения температуры или некоторого среднего значения температуры.

Наряду с тепловым излучением также возможно характеристическое, которое должно игнорироваться в пирометрии для правильного расчета температуры. В противном случае, возможно, что диагностируемое оптическое излучение не является тепловым, поскольку в спектрах излучения присутствует, как правило, характеристическая составляющая (линии излучения атомов). Кроме того планковская форма спектра не подтверждается путем измерения интенсивности на двух или одной длинах волн. Обычные простые измерения проводятся на основе гипотезы о спектре теплового электромагнитного излучения. Однако проверка этой гипотезы отсутствует. Для обоснования правильности такого измерения необходимо зарегистрировать непрерывный спектр излучения на отдельных участках длин волн. Поэтому там, где требуется измерить высокую температуру объекта, простые методы пирометрии с использованием одной или двух волновых чисел бывают неприменимы. Таким образом, трудно бывает получить достоверные данные о температуре методами такой пирометрии для множества объектов.

Итак, в каждом из применяемых методов простой пирометрии приходится сталкиваться с существенными проблемами.

В одноволновой пирометрии необходимы данные о коэффициентах излучения и передачи в некотором диапазоне температур. В двухволновой пирометрии необходимы данные об отношении коэффициентов излучения и передачи на двух волнах в некотором диапазоне температур. Для некоторых объектов отсутствие этих данных о коэффициентах излучения и передачи приводит к существенным ошибкам.

При этом температура объекта возможно неоднородна в пространстве и меняется во времени. В этих случаях заранее неизвестны точные количественные и качественные результаты последствий нарушения температурных режимов.

Для ряда высокотемпературных измерений не всегда ясно, какая нужна погрешность и точность измерений, и к каким последствиям приводит выход измеренного с погрешностью значения за пределы заданного интервала температур. Поэтому, если не оговорено иное, будем придерживаться гипотезы, заключающейся в достаточности получения умеренной относительной погрешности измерения температуры для большинства высокотемпературных измерений.

Особенность образцовых измерений основана на том, что они могут проводиться с использованием эквивалента абсолютно черного тела (АЧТ). В этом случае погрешность измерений должна быть меньше. В условиях метрологической лаборатории вполне можно обеспечить низкую относительную погрешность измерений АЧТ.

Для увеличения достоверности результатов и расширения области применения термопирометрии необходимо существенно снизить влияние относительной неопределенности коэффициента спектрального отношения на результаты измерений.

При наличии малогабаритных оптических спектрометров с ПЗС-линейками фотоприемников существует возможность непосредственно наблюдать в каждом эксперименте распределение интенсивности в спектрах теплового электромагнитного излучения объекта. Такие приборы позволяют за малое время зарегистрировать спектр излучения слабосветящихся объектов в низкотемпературной плазме. Для вычисления температуры, необходимо в каждом эксперименте регистрировать достаточно широкий спектр излучения каждого объекта и сравнивать его с обобщенным планковским спектром.

В заключение автор должен выразить свою признательность за обсуждение затронутых вопросов серого приближения д.ф.-м.н. А. Н. Магунову.

Вывод

В термопирометрии возможна корректирующая калибровка измерений температуры.

Литература

[1] T. J. Quinn. Temperature // Academic Press Ltd., London, 1983. - P. 384.

[2] Jorg Hollandt, Jurgen Hartmann, Ortwin Struss and Reno Gartner. // Radiometric temperature measurements. II. Applications. Z.M.Zhang, B.A.Tsai, G.Mashin, Eds. / Experimental Methods in the Physical Sciences. Vol.43. Amsterdam: Elsevier, 2010. - PP. 1-59.

[3] [Радиационная термометрия](http://temperatures.ru/pages/radiacionnaya_termometriya) // http://temperatures.ru/pages/radiacionnaya_termometriya.

Thermopyrometry for measuring of the real temperature

Leonid Grigor. Dubas

Abstract

The thermopyrometry for temperature measuring on measuring of thermal radiation is considered.

Keywords: temperature, thermal radiation, correction.