РАЗДЕЛ II. ФИЗИКА

Прошкин С.С., Лобко К.К.

Некоторые особенности измерения температуры с помощью тепловизора

*Санкт-Петербургский Горный университет
(Россия, Санкт-Петербург)*

doi:10.18411/spc-22-04-2018-06

idsp: 000001:spc-22-04-2018-06

Последние десятилетия ознаменованы бурным прогрессом в области развития и создания тепловизионной техники. Связано это, прежде всего, с успехами, достигнутыми в области микроэлектроники и технологии получения чистых полупроводниковых веществ.

Современные тепловизоры нашли широкое применение в строительстве, энергетике, металлургии, в дорожном строительстве, т. е. в тех случаях, когда необходим тщательный контроль за тепловым состоянием объектов и возникает необходимость бесконтактного измерения температуры.

В тепловизорах и ИК-термометрах на основе измеренного теплового потока температура исследуемого объекта вычисляется по формуле $T = T_p / \sqrt[4]{\varepsilon_T}$. В данную формулу входят радиационная температура T_p и интегральный коэффициент излучения (черноты) ε_T . Значение ε_T задается самим исследователем в установках «меню» тепловизора с использованием справочных таблиц, при этом выбранное значение ε_T считается истинным.

В то же время ошибка в значении выбранного ε_T приводит к заметной погрешности измерения температуры, которая может во много раз превосходить инструментальную погрешность самого тепловизора [1].

Сказанное может быть проиллюстрировано следующим примером [4]. Предположим, температура объекта 1000 °С измеряется тепловизором, чья инструментальная погрешность равна 1 %. Пусть коэффициент излучения объекта равен $\varepsilon_T = 0,63$, а исследователь ошибочно будет считать, что его значение равно 0,6. Подобная незначительная на первый взгляд разница в значении вводимой величины приведет к тому, что в результате измерения температура получится не 1000 °С, а 1037 °С, т. е. погрешность измерения окажется практически вчетверо больше инструментальной погрешности прибора.

Проблема усугубляется еще и тем, что ε_T зависит от значительного числа параметров, таких как: материал образца, температура, состояние излучающей поверхности и степени ее окисления, внешних факторов. Поэтому для многих материалов (прежде всего малоизученных) необходимо проводить специальные исследования по определению истинных значений ε_T .

Решить перечисленные проблемы можно с помощью предварительного измерения спектрального коэффициента излучения ε_λ , который оказывается гораздо более информативной характеристикой, чем интегральный коэффициент, поскольку излучение реальных тел отличается от излучения абсолютно черного тела, как по спектральному составу, так и по величине [2]. Например, реальные тела могут обладать

ярко выраженной селективностью, как в спектре излучения, так и поглощения, что наиболее заметно проявляется для газов и чистых металлов.

Все перечисленные факторы привели к необходимости разработки методики и проведения серии экспериментов с целью измерения спектрального коэффициента излучения различных материалов. При этом следует отметить, что измерение спектрального коэффициента излучения оказывается сложной задачей и требует для своего решения высокотехнологичного оборудования и высокой квалификации исследователей.

Экспериментальные измерения коэффициента ε_λ проводились с использованием Фурье-спектрометра модели ФСМ-1202, который позволяет получать информацию о спектральном составе ИК излучения и, следовательно, об оптических свойствах исследуемых образцов.

Для измерения спектрального коэффициента черноты при низких температурах использовался метод отражения. В основу данного метода для оптически непрозрачных материалов положено определение спектрального коэффициента отражения R_λ с последующим вычислением ε_λ на основании равенства, вытекающего из закона Кирхгофа [3]

$$R_\lambda + \varepsilon_\lambda + T_\lambda = 1. \quad (1)$$

С учетом непрозрачности тела, когда коэффициент пропускания $T_\lambda = 0$, формула (1) преобразуется к виду

$$\varepsilon_\lambda = 1 - R_\lambda. \quad (2)$$

Однако закон Кирхгофа, выраженный формулой (1), должен быть изменен в том случае, когда исследуемый образец обладает небольшой толщиной. В этом случае следует учесть возможное отражение излучения от двух поверхностей. С учетом сказанного формула (1), преобразуется к виду [4]

$$\varepsilon_\lambda = 1 - R_\lambda - T_\lambda + R_\lambda T_\lambda. \quad (3)$$

Таким образом, спектральный коэффициент излучения может быть вычислен по формулам (2) или (3) в случае предварительного измерения коэффициентов отражения и пропускания.

Хорошо известно, что коэффициент ε_λ может значительно изменяться при увеличении угла визирования. Чтобы учесть возможную угловую зависимость коэффициента отражения проводились эксперименты с использованием набора штатных приставок зеркального отражения Фурье-спектрометра, соответствующих фиксированным углам (10°, 30°, 45°, 80°). Наличие таких приставок позволило измерить зависимость коэффициента отражения R_λ от угла визирования в различных диапазонах длин волн.

В качестве объекта исследования был выбран образец стеклоорганоткани толщиной 2,5 мм. Результаты расчета коэффициента черноты для образца представлены на рис. 1. На этом рисунке введены следующие символьные обозначения: «Е для 10 гр.» - коэффициент черноты, рассчитанный по формуле (2) для угла отражения 10°; «Е для 10 гр. с отраж.» - коэффициент черноты, рассчитанный по формуле (3) для угла отражения 10°. Аналогичные символические обозначения используются для других углов отражения.

Представленные результаты показывают, что при углах визирования от 10° до 45° коэффициент черноты меняется крайне незначительно (в пределах менее 2%) и в среднем близок к 0,94. При угле визирования 80° коэффициент черноты изменяется

почти в два раза по сравнению с малыми углами. Кроме этого, при малых углах визирования расчет коэффициента черноты по формулам (2) и (3) практически не дает заметного различия (менее 1,5%). При угле 80° и диапазоне длин волн 10...14 мкм расчет по формулам (2) и (3) приводит к расхождению в полученных результатах порядка 6...7%.

Рис. 1. Спектральный коэффициент излучения для различных углов визирования

Другая особенность спектрального коэффициента излучения заключается в том, что он крайне незначительно зависит от длины волны. Так, при угле визирования 10° полный интервал изменения коэффициента черноты составляет от 0,89 при 13...14 мкм до 0,95 при 3...5 мкм. По указанной причине интегральный коэффициент для подобных образцов может быть вычислен с помощью обычного математического усреднения.

В представленном графике спектрального коэффициента излучения при длинах волн 4,25 мкм наблюдается узкий спектральный пик, объясняющийся резонансным поглощением молекулами углекислого газа, присутствующим в окружающем воздухе.

Приведенные результаты наглядно доказывают эффективность и высокую чувствительность экспериментального метода нахождения коэффициента черноты с помощью Фурье-спектрометра. Особо подчеркнем, что данный метод позволяет вычислять спектральный коэффициент черноты, в отличие от методов с использованием тепловизионных приемников, в которых можно определить только интегральный коэффициент черноты.

1. Прошкин С.С. К вопросу о точности измерения температуры с помощью тепловизора // Вестник международной академии холода, 2014. №1. С. 51-54.
2. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1977. 344 с.
3. Новицкий Л.А., Степанов Б.М. Оптические свойства материалов при низких температурах. М.: Машиностроение, 1980. 224 с.
4. Инфракрасная термография в энергетике Афонин А.В. и др. Под ред. Ньюпорта Р.К., Таджибаева А.И. т. 1. Основы инфракрасной термографии. СПб.: СПЭИПК, 2000. 240 с.
5. Курбатова Н.А. Методика калибровки тепловых излучателей для определения характеристик оптико-электронных приборов / Курбатова Н.А., Троценко Д.П. // Сборник трудов конференции молодых ученых. – СПб: ЛИТ-МО, 2009. Вып. 3. С. 254–259.