

Инфракрасное термографирование

Б.А. Пашков, ведущий научный сотрудник ОКБ МЭИ, к.т.н., доцент

Как известно, все объекты природы, имеющие температуру выше абсолютного нуля, излучают электромагнитные колебания в широком спектральном диапазоне и имеют различное распределение температуры как внутри, так и на поверхности.

В настоящее время во многих областях промышленности, транспорта, техники необходимо осуществлять наблюдение за распределением температуры по поверхности и объему различных сооружений, строений, технологического оборудования, трубопроводов, электроустановок, а также при диагностике заболеваний в медицине и др. Такие исследования проводятся в основном в инфракрасной (ИК) области оптического диапазона спектра, соответствующей спектру теплового излучения нагретых тел.

Существуют два основных метода дистанционного контроля температурных характеристик: тепловидение и термография.

- **Тепловидение** позволяет производить визуально качественные обследования, обзор, определение местоположения объектов и распознавание их формы (даже в полной темноте) и относительное распределение интенсивности излучения по объекту, но без измерения температуры, либо с весьма грубой ее оценкой.

- **Термография** решает все задачи тепловидения, а, кроме того, обеспечивает количественные радиометрические измерения температуры данного объекта.

Поэтому приборы, используемые в промышленной и медицинской ИК-диагностике, подразделяют на два основных класса: только отображающие - **тепловизоры** и измерительные - **термографы** (обеспечивающие также и отображение теплового распределения). Очевидно, что к параметрам термографов предъявляются более высокие требования. Основы теории и проектирования ИК-

систем дистанционного контроля приведены в монографиях [1, 2].

Для точной диагностики в технике и медицине необходимо использование именно термографирования, рассмотрению которого и посвящена данная статья.

При проведении количественных измерений к измерительной аппаратуре предъявляются требования получения изображения объекта с заданными качеством и разрешением по температуре и пространственным координатам. Кроме того, оптическая система не должна заметно ослаблять полезный сигнал и добавлять собственный тепловой шум.

Выбор типа чувствительного элемента - приемника излучения для термографического аппарата - зависит от предъявляемых технических требований и условий работы, таких, как спектральный диапазон чувствительности и уровни оптических сигналов, уровень выходного электрического сигнала, допустимый уровень собственного шума и требования по охлаждению как самого элемента, так и оптической системы прибора. На практике применяются, в основном, два вида приемников ИК-излучения:

- на основе многоэлементных матриц фотодиодов с электронной разверткой кадра изображения;

- на основе фотоэлемента со вторичным фотоэффектом с механической зеркальной разверткой (фотонные приемники).

Многоэлементные приемники имеют большой разброс по чувствительности отдельных элементов матрицы, их электронные узлы гораздо более сложные и стоят существенно дороже. Использование фотодиодных матриц повышает требования к охлаждению, так как тепловая инерция большой фотодиодной матрицы достаточно велика. Механическая система развертки фотонных приемников относительно инерционна,

но наличие лишь одного малогабаритного фотоэлемента позволяет проводить измерения температуры с более высокой точностью.

При дистанционном контроле важны также и оптические свойства земной атмосферы, которая имеет "окна" наибольшей прозрачности в диапазонах длин волн 3-5 и 8-12 мкм. Поэтому в термографах обычно применяются приемные элементы, имеющие высокую чувствительность именно в этих диапазонах. Влияние воздушной атмосферы существенно лишь при больших расстояниях до объекта (сотни метров или километры), а на малых расстояниях им можно пренебречь. Эффективность использования диапазонов оптического излучения 3-5 и 8-12 мкм существенно зависит от свойств окружающей среды (пыль, туман, дождь, дым от горения различных веществ и т.п.)

В диапазоне 3-5 мкм интегральная плотность потока излучения почти вдвое превышает поверхностную плотность для интервала 8-12 мкм. Тепловые контрасты изображения для обеспечения разрешения по температуре в интервале длин волн 3-5 мкм превосходят тепловые контрасты в интервале длин волн 8-12 мкм, что особенно важно, если объект имеет температуру, незначительно отличающуюся от окружающей фона. Этот параметр определяет дифференциальную чувствительность, которая для длин волн 3-5 мкм в 2,2 раза больше, чем для интервала 8-12 мкм в широком диапазоне измеряемых температур. Фотонные приемники излучения селективны по спектру и обладают лучшими характеристиками по чувствительности и быстродействию. При одинаковой температуре охлаждения приемники, чувствительные в спектральном диапазоне 3-5 мкм, в большей степени приближаются к теоретическому пределу. На практике, в зависимости от состо-

яния окружающей среды и параметров объекта съемки, могут использоваться оба указанных диапазона.

Для повышения чувствительности и уменьшения влияния собственных шумов необходимо охлаждать приемники до низких температур. В настоящее время существует четыре способа охлаждения: сжиженными газами; за счет эффекта Джоуля-Томсона, термоэлектрического эффекта и использования криогенных устройств.

Приемники на основе антимонида индия (InSb), чувствительные в полосе 3-5 мкм, будучи охлажденными до температуры жидкого азота 77К, имеют чувствительность на порядок лучшую, чем при температуре 195К, обеспечиваемой термоэлектрическими системами охлаждения с несколькими каскадами.

Приемники на основе соединения "кадмий - ртуть - теллур" (КРТ), чувствительные в диапазоне 8-12 мкм, имеют тенденцию к деградации параметров во времени из-за разложения ртути в составе полупроводникового слоя, что требует проведения периодической калибровки - один раз в несколько месяцев. Для приемников из антимонида индия подобной проблемы не возникает, так как это соединение очень стабильно и они не требуют калибровки в течение срока службы. При этом приемник с антимонидом индия имеет в 7 раз большую чувствительность, чем приемник с КРТ, охлаждаемый до той же температуры жидкого азота.

По соображениям простоты, безопасности эксплуатации и удобства использования приемников для ИК-термографии чаще всего применяют охлаждение жидким азотом, который заливается в сосуд Дьюара прибора и обеспечивает автономную работу приемника после каждой заливки в течение 8 часов.

ИК-излучение, невидимое человеческим глазом, в термографе с помощью выделения оптико-электронной системой и последую-



Генеральный директор ООО "ИРТИС" М.И. Щербаков рассказывает академику В.А. Котельникову о термографе "ИРТИС-2000"

щей цифровой обработкой преобразуется в изображение в видимом оптическом диапазоне, воспринимаемом глазом. Объектив термографа - это важная часть системы, которая собирает излучение и формирует оптическое изображение. Коэффициент пропускания оптической системы должен быть по возможности максимальным в рабочем участке спектра ИК-диапазона, что, с одной стороны, ограничивает число оптических элементов, а с другой - делает необходимым просветление этих элементов для улучшения пропускания. Характеристики оптических элементов являются одним из факторов, ограничивающих качество получаемого изображения - чем больше линз - тем хуже качество.

Основными требованиями, которым должна соответствовать термографическая техника, являются нижеследующие.

- Легкость, портативность и простота использования.
- Герметичное исполнение корпуса и ударовибростойкость.
- Высокая надежность, отсутствие в конструкции прибора дорогостоящих узлов с ограниченным ресурсом работы.

• Возможность эксплуатации термографа в широком диапазоне температур окружающей среды от минус 40 до плюс 50°C, невосприимчивость к помехам от солнечного света.

• Чувствительность (разрешающая способность по температуре) приемника должна быть не более 0,1°C (при измеряемой температуре 25-300°C). Верхний предел измеряемого температурного диапазона должен быть не менее

300°C, а нижний 2-5°C. Точность измерения температуры должна быть не хуже 1-3%.

- Наличие автофокусировки изображения, не требующей ручной настройки на обследуемый объект, возможность автоматической компенсации изменений температуры окружающей среды, излучательной способности объекта и расстояния, с которого ведется съемка.

- Обеспечение необходимого соотношения между пространственным разрешением и размерами поля зрения, исходя из габаритов объекта и степени детализации при съемке.

- Обеспечение высокого качества изображения и высокой точности измерения пространственного распределения температуры объекта.

- Возможность обмена данными с компьютером, что необходимо для составления банка данных и последующей их систематизации.

- Наличие средств индикации и термонизображения, возможность проведения их анализа в полевых условиях. Оптимальным вариантом является применение ПЭВМ типа Ноутбук.

- Наличие мощного программного обеспечения, обеспечивающего возможность создания отчета в соответствии с заданным шаблоном в считанные минуты.

- Обязательное наличие сервисного обслуживания в России, руссификации меню и программного обеспечения.

Всем вышеперечисленным требованиям полностью удовлетворяет портативный компьютерный термограф "ИРТИС-2000" (IRTIS - Infra Red Thermal Imaging Systems).

Этот термограф разработан на основе использования накопленного 30-летнего опыта российской фирмой - ООО "ИРТИС" (г. Москва) и поставляется по цене, в 3-4 раза более низкой, чем у зарубежных приборов. В стандартный комплект поставки термографа входят: ИК-приемная камера, измеряющая температуры в

диапазоне от минус 40 до +2000°C, русифицированное программное обеспечение (с возможностью создания отчетов по термографическим обследованиям); два сменных аккумулятора; сетевое зарядное устройство для подзарядки аккумулятора; комплект соединительных кабелей; штатив; термос для жидкого азота, сумка для переноски и компьютер Ноутбук промышленного исполнения. Для хранения азота и заполнения им термографа возможна поставка выпускаемых НПО "Гелиймаш" сосуда Дьюара и перекачивающего устройства. Расход азота около 1 литра на сутки работы.

К достоинствам термографа ИРТИС-2000 можно отнести большое время автономной работы на одной заправке жидким азотом (8 часов), малые потребляемую мощность и вес (1,2 Вт и 1,5 кг), а самое главное - очень высокая чувствительность - до 0,02°C при температуре 30°C, а точность измерения температуры - 1%. Рабочий диапазон температур окружающей среды от минус 40 до +50°C. Термограф ИРТИС-2000 также отличается высоким качеством изготовления, надежностью, простотой эксплуатации. Он может поставляться с рабочими спектральными диапазонами 3-5 мкм и 8-12 мкм. Уникальной разработкой является система термографирувания, позволяющая четко дифференцировать отличия высокотемпературного пламени от ярких солнечных бликов, отраженных блестящими поверхностями, что весьма актуально в условиях пожара. Цветное высокоточное изображение температурного поля исследуемого объекта наглядно отображается вместе с калибровочной температурной шкалой на дисплее Ноутбука. Высокая метрологическая стабильность обеспечивает надежную работу в течение срока службы в диапазоне 3-5 мкм без проведения калибровки и подстройки. Основные параметры аппарата ИРТИС-2000 приведены в статье [3].

Чрезвычайно эффективно использование термографа ИРТИС-2000 для неразрушающего контроля различных устройств, узлов и деталей в машиностроении, строительстве, электронике и др. Так, аппарат позволяет существенно

повысить надежность работы жаропрочных лопаток турбин авиадвигателей за счет контроля и отбора на стадии изготовления; обнаруживать местные перегревы в дымовых трубах, цементных печах и ковшах разлива металла; перегревы электрооборудования; обнаруживать повреждения трубопроводов, контролировать зоны перегрева печатных плат и микросхем при подаче контрольных сигналов и многое другое. Это позволяет обнаруживать скрытые дефекты и своевременно выполнять профилактический ремонт, предотвращая возможные аварии и отказы оборудования. В августе 2000 г. генеральный директор ООО "ИРТИС" М.И. Щербаков путем облета на вертолете лично измерил распределение температур внутри горячей Останкинской телебашни. Эти измерения позволили сделать важный вывод о сохранении необходимой прочности башни, что позволяло экономить большие средства при ее восстановлении. Если бы такие измерения были проведены с профилактической целью до пожара, его можно было бы легко предотвратить. В настоящее время московское правительство с использованием термографов ИРТИС-2000 развернуло большую программу исследования утечек тепла в жилых домах и различных сооружениях по причинам плохой теплоизоляции и дефектов строительства с целью экономии энергоресурсов, расходуемых на отопление.

Великолепные результаты получаются при использовании аппаратов ИРТИС-2000 в медицине. Как известно, при возникновении различных заболеваний они проявляются в виде незначительного местного повышения или понижения температуры на поверхности тела. Измерение распределения температуры позволяет врачу выполнять высокоточную диагностику и принимать обоснованные решения по назначению курса лечения больных.

Аппараты ИРТИС-2000 нашли применение в 30 странах ближнего и дальнего зарубежья: Англии, Германии, Франции, США, Японии, Индии, Южной Кореи, Польше, Румынии, Белоруссии, Казахстане и др. Они приобретены фирмой SAMSUNG ELECTRONIC (Южная Корея),

Университетом КУОРИО (Финляндия), фирмой MAZAK (Япония), Ядерным центром им. Индиры Ганди (Индия) и др.

Аппараты ИРТИС-2000 эксплуатируют более 300 предприятий России, в том числе: ОАО "Мосэнерго", "Газпром", РАО ЕЭС, ММПП "Салют", РКК "Энергия", АПК "Сухой", ОАО "Московский электрозавод", ОАО "Электросила", ОАО "СУАЛ", "Владимиргосэнергонадзор", "Липецкэнерго", "Самараэнерго", "Челябэнерго-наладка", "Сибнефть-ОППЗ", "Уралвагонзавод", "Сургутнефтегаз", Магнитогорский металлургический комбинат, "Западно-Сибирские железные дороги" и многие другие.

Примеры практического применения термографов ИРТИС опубликованы, в частности, в журналах: "Энергетик" №№ 6, 1999, 11, 2000, 2, 2001, 12, 2001, 2, 2002, 8, 2002, 1, 2003; "Электрические станции" № 9, 2000; "Тяжелое машиностроение" № 11, 2000, "Новости теплоснабжения" № 1, 2000.

Гарантийный срок работы аппарата 2 года; в течение 7 лет изготовитель обеспечивает его техническое сопровождение. Термограф ИРТИС-2000 по праву считается одним из лучших аппаратов своего класса по критерию цена/качество.

На 3-ей обложке данного номера журнала приведены иллюстрации, отражающие высокое качество тепловых измерений, выполненных прибором ИРТИС-2000 в различных практических приложениях.

Библиография

1. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение. / Пер. с франц. - М.: Мир, 1988.
2. Ллойд Дж. Системы тепловидения. / Пер. с англ. - М.: Мир, 1978.
3. Пошков Б.А. Портативный компьютерный томограф ИРТИС-2000. // Наука и технологии в промышленности, № 4/2003 - 1/2004, С. 46.

ООО "ИРТИС"

101000, г. Москва,
Старосадский пер., дом 8, стр. 1
Тел./Факс: (095) 924-23-51,
E-mail: info@irtis.ru,
Internet: www.irtis.ru