
О выборе оборудования для бесконтактного измерения температуры

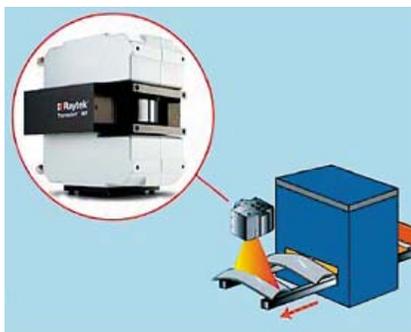


Гусев
Герман
Васильевич

Зам. директора
ЗАО «Текно»,
занимается
вопросами при-
менения методов
неконтактного
измерения темпе-
ратур в различных
областях науки
и техники.

Температура — один из наиболее важных параметров, определяющих состояние живых существ, объектов техники и неживой природы и оказывающих влияние на природные и рукотворные процессы и реакции, которые происходят в окружающем нас мире. Влияние температуры необходимо учитывать в различных областях человеческой деятельности. Методы теплового НК основаны на исследовании тепловых процессов, протекающих в различных объектах, по их поверхностным температурным полям, а в отдельных случаях — и по характеру их изменения во времени [1].

Незначительное отклонение температуры от необходимого для обеспечения устойчивого протекания какого-либо процесса или стабильного состояния системы может приводить к нежелательным или даже катастрофическим последствиям. Многие помнят одну из крупнейших катастроф, остановившую на многие годы работы на одной из великих строек СССР. В 1984 г. при сооружении восточного участка БАМ произошла авария при проходке тоннеля. В статье В. Шилова «Где задержалась бригада Варшавского», опубликованной в газете «Советская Россия» от 3 июня 1984 г., было написано: **«Работы велись строго по утвержденной технологии. Разрыв между проходкой и бетонной обделкой был в пределах допустимого. Почему произошел обвал? Очередная загадка вечной мерзлоты. Правда есть особенность: температурный режим контролировался по нижним отметкам. Замеры не вызывали особой озабоченности. Только позднее обнаружилось, что под самым сводом было вдвое теплее, чем внизу»** (выделено автором).



Система для непрерывного измерения температуры при производстве стекла GS100



Термоэлектрический тепловизор-регистратор IR SnapShot

Измерение распределения температур (температурных полей) возможно как контактными, так и неконтактными методами [2]. Установка контактных температурных датчиков требовала в упомянутом случае значительных затрат на создание и поддержание работоспособности системы мониторинга температур в тоннеле. Но, если бы у строителей был тепловизор или хотя бы простейший пирометр, пригодный для измерения температур в пределах от -18° до 100° C, а в регламент работ был бы вписан пункт об обязательном периодическом контроле температур по всему периметру тоннеля, включая свод, то катастрофы, возможно, удалось бы избежать.

Контроль температуры бесконтактным методом — один из мощных методов НК и ТД. Основным достоинством бесконтактного измерения температуры является отсутствие физического контакта с объектом, температуру которого необходимо измерить. Измерение производится путем регистрации излучаемой объектом энергии, которая собирается оптической системой прибора и преобразуется приемником ИК излучения в электрический сигнал. Этот сигнал после усиления и соответствующей обработки преобразуется в потенциальный, токовый или цифровой сигнал и, в соответствии с калибровкой прибора, в значение температуры. Величина энергии, излучаемой объектом, связана с энергией, определяющей его термодинамическую температуру; но определяется не только температурой, а и материалом поверхности объекта, состоянием поверхности (пористая, шероховатая или текстурированная с регулярной или нерегулярной структурой, гладкая или модифицируемая во времени, например, окисляющаяся, плавящаяся или иная), формой объекта,



Тепловизор с функцией измерения температуры ThermoView



Измерения температуры новым тепловизором ThermoView Ti30 фирмы Raytek

направлением, с которого наблюдается контролируемый участок. Среда между объектом и прибором может поглощать излучение в диапазоне спектральной чувствительности измерительного прибора. Кроме поглощения на измерение температуры может оказывать влияние наличие рассеянного или отраженного от объекта излучения. Влияние поглощения излучения средой, рассеяние и отражение излучения должны учитываться при проведении измерений с помощью бесконтактного средства измерения температуры.

Для бесконтактных измерений температуры применяются:

- ИК-радиометры, они же радиационные* термометры, иначе называемые ИК-термометрами или пирометрами;
- сканирующие ИК-радиометры или линейные сканеры;
- [тепловизоры](#).

Пирометр — наиболее простой инструмент для бесконтактного измерения температуры. Он состоит из оптической системы, собирающей излучение в пределах определенного телесного угла на приемнике излучения, приемника излучения, преобразующего излучение, попадающее на него, в электрический сигнал, электронной схемы, усиливающей и преобразующей электрический сигнал в сигнал, значение которого может быть отражено на дисплее пирометра или на ином индикаторе в виде значения температуры или передано в виде кодированного значения температуры на другое устройство.

* «Радиационный термометр» никакого отношения к ядерно-физическим методам измерения не имеет. В данном случае речь идет об электромагнитном излучении, которое также называют «ИК-радиацией».

Оптическая система пирометра обычно характеризуется углом поля зрения, который определяет, в первом приближении, линейное разрешение пирометра на любом расстоянии через показатель визирования — отношение расстояния от пирометра до объекта измерения к поперечнику поля зрения на данном расстоянии. Пирометры градуируются по эталонному источнику излучения при условии, что размеры поля зрения пирометра на расстоянии измерения температуры эталонного источника должны быть меньше размеров площадки эталонного источника излучения. Размер поверхности реального объекта, температура которого измеряется, должен превышать поперечник поля зрения пирометра не менее чем на 30–50%. Для точного определения значений полей зрения на различных расстояниях необходимо пользоваться диаграммами поля зрения пирометров, в которых кроме угла раскрытия поля зрения пирометра учитывается, в частности, диаметр объектива.

Пирометр как электронная система обладает определенной инерционностью, которая определяет его возможности при регистрации динамических тепловых процессов.

Сканер (линейный) отличается от пирометра тем, что его поле зрения изменяет свое положение в пространстве, обеспечивая линейную развертку теплового поля. Температура контролируемого сканером объекта будет измеряться правильно, если линейный размер объекта (в направлении, перпендикулярном плоскости сканирования) на расстоянии измерения будет превышать поперечник поля зрения пирометра не менее чем на 30%. В направлении плоскости сканирования линейное разрешение будет определяться скоростью сканирования и быстродействием (временем реакции) сканера. За счет перемещения объекта или качания корпуса сканера можно получать двумерные картины распределения температур.

Тепловизор предназначен для съемки термограмм — карт распределения тепловых полей по поверхности исследуемого объекта. Известны следующие тепловизионные системы:

- с механическим сканированием и разверткой по двум координатам с одноэлементным или многоэлементным приемником;
- с линейной многоэлементной матрицей и механической разверткой по одной координате;
- с многоэлементной матрицей или иным приемником без механической развертки.



Портативные и стационарные пирометры для различных приложений

Одноэлементный приемник или один из приемников матрицы вместе с оптической системой в каждый момент времени можно рассматривать как отдельный пирометр. Линейное разрешение для тепловизора определяется через мгновенное поле зрения отдельного приемника. Для точного измерения температуры объекта с помощью тепловизора необходимо обеспечить следующее условие: размер измеряемой зоны объекта измерения должен быть больше мгновенного угла зрения одного приемника, но может быть меньше утроенного мгновенного поля зрения одного приемника в каждом из двух взаимно-перпендикулярных направлений, т. е. должен попадать в зону, охватываемую мгновенным углом зрения площадки из 3×3 элементарных приемников. Данное требование должно соблюдаться при работе с любым объективом тепловизора, независимо от его фокусного расстояния. Быстродействие приемников определяет скорость получения термограммы и возможность регистрации быстропротекающих процессов.

Несмотря на то, что описанные инфракрасные приборы существенно отличаются по конструкции и возможностям, в их выборе существует ряд общих моментов, определяемых принципом их работы — измерением температуры поверхности по потоку излучаемой энергии. Очевидно, что важнейшим параметром является температурный диапазон измерений. Он выбирается, исходя из представлений о температурах тех процессов и объектов, которые необходимо контролировать.

Помимо температурного диапазона одновременно необходимо правильно выбрать спектральный диапазон, в котором возможно измерение температуры данного типа объектов. Это связано с тем, что излучательная способность всех без исключения материалов зависит от температуры, при этом для одного и того же материала она может из-

меняться различным образом в различных областях спектра. Для измерения температур большинства объектов от -50 до 600 °С (в отдельных случаях до 1400 °С) можно применять пирометры, работающие в диапазоне спектральной чувствительности $7-14$ (18) мкм. В этом диапазоне верхняя атмосфера Земли непрозрачна для солнечного излучения, поэтому измерения можно проводить в условиях солнечной засветки. Именно в этом диапазоне работает большинство выпускаемых в настоящее время тепловизоров. В диапазоне около 7 мкм можно измерять температуру тонких синтетических пленок с помощью специальных пирометров, сканеров или тепловизоров с фильтрами. Температуру поверхности силикатных стекол можно измерять только в диапазоне 5 мкм. Температуру нагретых газов измеряют с помощью пирометров, имеющих диапазон спектральной чувствительности, совпадающий с линиями поглощения этих газов. Диапазон $3,9$ мкм — это диапазон прозрачности газового пламени, и пирометр с данным диапазоном спектральной чувствительности позволяет проводить измерения нагретых объектов через пламенный факел. Для измерения высоких температур поверхности нагретых и расплавленных металлов обычно используются пирометры с диапазоном спектральной чувствительности $1-2$ мкм. Этими же пирометрами можно измерять температуру в массе расплавленного стекла в слое толщиной $10-30$ мм. Следует иметь в виду, что в диапазоне $1-5$ мкм имеет место заметное пропускание солнечного излучения земной атмосферой, и при измерении температур необходимо избегать присутствия прямого и рассеянного солнечного излучения.

Для того, чтобы инструмент для неконтактного измерения температуры позволял измерять температуру различных материалов, он должен иметь переключатель коэффициента излучательной способности в пределах от $0,10$ до $1,00$ с шагом $0,01$. При температуре 1000 ° С ошибка в определении излучательной способности всего на $0,01$ приводит к ошибке $2-4$ ° С.

Для правильного измерения температуры объектов необходимо выбирать инструмент, имеющий поле зрения меньше размеров контролируемой зоны на расстоянии измерения (для пирометра и сканера), или тепловизор с объективом, который обеспечивает линейное разрешение мгновенного поля зрения элементарной приемной площадки детектора меньше размеров контролируемой зоны.

Быстродействие пирометра имеет большое значение для измерения температур динамических процессов или движущихся объектов, а также при проведении измерений пирометрами с узкими полями зрения, поскольку оператору в производственных условиях трудно обеспечить наведение пирометра на зону измерения в течение времени более 1 с при работе с рук. Для указания зоны измерения пирометры снабжаются средствами наведения на зону измерения. Для наведения на зону измерения температур ниже 600–800° С применяются лазерные или оптические прицелы. Для наведения на зону измерения с более высокой температурой целесообразно применять пирометры с оптической системой наведения. При измерении температур выше 1000° С желательно применять специальный поляризационный фильтр, позволяющий установить приемлемую для оператора яркость изображения в оптическом прицеле. Использование специальных фильтров (очков с фильтрами), повышающих контрастность лазерного луча для зрения оператора, позволяет применять лазерный прицел-указатель при температурах выше 800° С. Лазерные прицелы могут быть одно-, двухи многолучевые. При пользовании лазерным прицелом необходимо знать, есть ли у данного прицела параллакс по отношению к полю зрения пирометра и, если есть, то какой. Несмотря на то, что мощность лазеров прицелов невелика, при работе необходимо исключить попадание прямого или отраженного лазерного излучения в глаза.

Для измерения температуры материалов с низкой излучательной способностью применяют специальные модели пирометров — пирометры спектрального отношения и пирометры со сферой или чашкой. Правильный выбор оборудования для неконтактного измерения температуры обеспечивается, если за основу для выбора принимаются требования, сформулированные на основе анализа объектов измерения, а также удобство работы оператора. Возможности, связанные с обработкой полученной пирометрами, сканерами и тепловизорами информации, выходят за рамки данной статьи.

Новая аппаратура для теплового неразрушающего контроля

Фирма RAYTEK в 2002 г. выпустила первый в мире пирометр с электронной фотографической камерой на основе хорошо известной модели пирометра Raynger MX4 с беспараллаксным многолучевым лазерным указателем, точно оконтуривающим поле зрения пирометра на любом расстоянии.

Пирометр Raynger модели MX4 имеет следующие параметры: диапазон измеряемых температур – $30 \div 930^\circ \text{C}$, погрешность 0,75%, цена деления $0,1^\circ \text{C}$, автоматическая фиксация максимальной и минимальной температуры в цикле измерений, расчет средней температуры и разности между максимальной и минимальной, аналоговый выход для записи на самописец, цифровой выход RS232 для постоянной связи с компьютером, подключаемая к пирометру поверхностная накладная термопара, накопление в памяти до 100 результатов измерений и передача полученных данных в компьютер, изменяемый в пределах от 0,10 до 1,0 с шагом 0,01 коэффициент излучательной способности, встроенная корректируемая таблица коэффициентов излучательной способности на 30 материалов.

Новый пирометр Raynger MX6 отличается от своего предшественника наличием электронной фотокамеры, смонтированной сверху на корпусе пирометра. Камера снабжена объективом, наводимым вручную по символам и электронной фотовспышкой, и позволяет запоминать в момент измерения изображение-фотографию зоны измерения с фиксацией следа многолучевого лазерного прицела (26 фотоснимков высокого разрешения или 100 снимков разрешением 240×360). Пирометр с фотографической фиксацией зоны измерения удобен для проведения повторяющихся измерений и для инспекционных целей, а программное обеспечение, прилагаемое к пирометру, позволяет легко создавать отчеты по результатам измерений.

Фирма Raytek разработала и начала производство портативного радиометрического тепловизора ThermoView Ti30.

Фирма ISI (Infrared Solution Inc.), занимающаяся разработкой и производством низкостоимостных тепловизоров, предназначенных для решения задач технического обслуживания, модернизировала хорошо зарекомендовавший себя тепловизор SnapShot 525, расширив диапазон измеряемых температур с 600°C до 1200°C при незначительном увеличении цены.

Литература

1. ГОСТ 18353–79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. — М.: Стандарты. 1979.
2. ГОСТ 23483–79. Контроль неразрушающий. Методы теплового вида. Общие требования. — М.: Стандарты. 1979.