

Раздел седьмой ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

7.4. Тепловизионная диагностика энергетического оборудования

7.4.3. Современное состояние тепловизионной техники

Макальский Л.М., МЭИ(ТУ)

При определении состояния энергетических объектов и коммуникаций необходима регистрация изменения интенсивности теплового излучения. В качестве приборов регистрации теплового излучения используются, как было уже сказано, пирометры, тепловизоры и теплосканеры. Инфракрасные приемники теплового излучения обычно работают в спектральных диапазонах 3...5,5 или 8...14 мкм. Фотонные теплоприемники часто работают с криогенным охлаждением чувствительных элементов (например, с жидким азотом с $T = 77$ К). Это резко снижает по-другому не устранимые тепловые шумы и соответственно улучшает пороговую чувствительность. Использование микропроцессорных или термоэлектрических охлаждающих систем при более высоких температурах ухудшает эти параметры, тем не менее, чувствительность тепловизионных приборов, как правило, достигает 0,1 °С.

Пирометры воспринимают тепловое излучение от нагретой площадки в пределах сравнительно малого телесного угла, с помощью оптической системы направляют излучение на термоэлектрические преобразователи и осуществляют регистрацию электрического сигнала с помощью показывающих измерительных преобразователей, проградуированных в показателях температуры.

Непосредственное воспроизведение «тепловых портретов» стало возможным только с появлением **тепловизоров** — двухмерных преобразователей изображений средневолнового инфракрасного диапазона в видимое на экране тепловизионного монитора изображение. Наиболее значительные успехи в ИК-технике достигнуты в последние годы в области автономных переносных поисковых и диагностических тепловизионных систем с охлаждаемыми и неохлаждаемыми приемниками излучения. **Тепловизор** с единичным приемником (**сканером**) содержит прецизионную систему оптико-механического сканирования (ОМС) наблюдаемого пространства с последующим воспроизведением полученных сигналов в виде кадра.

Визуализация объектов в движении требует быстрой смены кадров и осуществляется с помощью **тепловизионной скоростной камеры**. Для скоростной быстройдействующей камеры предпочтение отдается приемнику с квантовым механизмом реакции на ИК-излучение, так как быстроедействие фотонных приемников составляет около 1 мкс. Из-за трудностей создания сверхбыстродействующих систем ОМС такие тепловизоры работают в малокадровом режиме, используют протяженные линейки идентичных приемников. В ряде случаев применяются дорогостоящие матричные (до 10^6 элементов) квантовые приемники, что позволяет исключить ОМС в системах наблюдения.

В настоящее время пирометры являются общедоступными регистраторами температуры отдельных элементов и узлов объекта. Пирометры обеспечивают измерение температур в широком диапазоне от -40 до $+300$ °С, а специальные фильтры позволяют расширить диапазон измерения до 1500 °С. Современные пирометры дополнительно снабжены устройствами, формирующими

лазерные метки, показывающие площадку, температура которой усреднена регистрирующим цифровым индикатором прибора.

В основе работы тепловизора и теплосканера лежит принцип преобразования потока ИК-излучения от объекта, принимаемого чувствительным элементом, в электрический сигнал, пропорциональный тепловой спектральной мощности потока излучения. Тепловизоры и тепловизионные сканеры формируют изображение объекта на регистрирующем экране. Каждая точка объекта фиксируется со своей температурой, а уровень температур каждой точки задается различным цветом. Инфракрасное изображение объекта чаще всего значительно отличается от изображения в видимой глазом части спектра, поэтому отдельные тепловизионные приборы дополнительно снабжены обычными телевизионными камерами, изображение с которых также отражается на экране. В линейных измерительных сканерах ИК-излучение регистрируется вдоль линии визирования и выводится в виде графика распределения радиационной температуры на встроенный цветной монитор прибора.

Структурная схема названных телевизионных прибо-

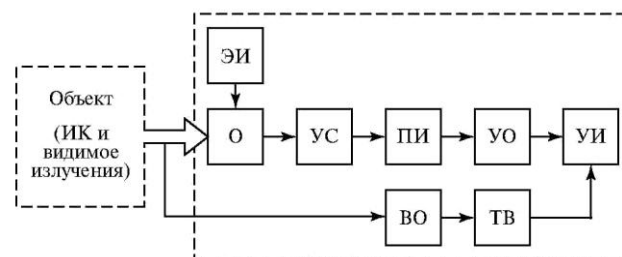


Рис. 7.29. Структурная схема тепловизора (сканера)

ров приведена на рис. 7.29.

Поток инфракрасного излучения от объекта попадает в объектив *О*, отражается зеркалом узла сканирования *УС* (у тепловизора этот узел отсутствует) и попадает на приемник излучения *ПИ*. Приемником излучения для тепловизора является ИК-чувствительная матрица, а для тепловизионного сканера — точечный приемник. Приемник излучения *ПИ* преобразует энергию падающего на него потока ИК-излучения в электрическое напряжение. Узел обработки *УО* преобразует сигнал с приемника излучения *ПИ* в массив значений радиационной температуры в соответствии с хранящейся в энергонезависимой памяти индивидуальной градуировочной характеристикой прибора и показаниями встроенных датчиков температуры и отображает этот массив на цветном жидкокристаллическом мониторе.

Одновременно с выводом графика распределения радиационных температур на узел индикации *УИ* дополнительно поступает изображение объекта в видимом спектральном диапазоне, формируемое телевизионным каналом, состоящим из миниатюрной *ТВ* камеры с вариообъективом *ВО*.

Программными средствами температура выводится

на монитор в виде цифрового значения и может быть откорректирована с учетом коэффициента излучения объекта и температуры фона (окружающей среды).

Среди зарубежных и отечественных разработок тепловизоров с охлаждаемыми единичными или матричными квантовыми приемниками ИК-излучения наибольшее распространение получили приборы, обеспечивающие точность измерения 1...2 °С, представленные в табл. 7.11.

Указанные приборы имеют большой набор сервисных операций и специальное программное обеспечение.

До настоящего времени тепловизионные обследования не имели массового применения из-за их большой стоимости. С появлением на рынке российских и зарубежных инфракрасных сканеров (ИКС) различных моделей ИК-диагностика перестала быть монополией крупных компаний и оказывается практически доступной для аудиторских контор и производственных фирм. Инфракрасные сканеры имеют минимальное соотношение цена/качество по сравнению с приборами других типов, используемых для тепловизионных обследований различных объектов.

В табл. 7.12 приведены сравнительные характеристики наиболее распространенных в России ИКС российского и зарубежного производства.

Ростехнадзором Москвы проведены совместные испытания в натуральных условиях тепловизора AGEMA (Thermovision 550 — Швеция), тепловизора Inframetrics-750 (США) и ИКС «Аврора» (Россия). Сравнительные испытания показали идентичность проведенных измерений полей температур.

Отметим, что достаточно часто предлагаемые к использованию в России зарубежные приборы не сертифицированы Госстандартом России. Инфракрасный

сканер «Аврора» зарегистрирован ВНИИСтандарт (ТУ 4276-001-49881450-01) и сертифицирован Госстандартом России как измерительный прибор (сертификат RU.C.32.010.A № 8157). Приведенные данные свидетельствуют о том, что прибор ИКС «Аврора» имеет лучшее соотношение цена/качество по сравнению с дру-

гими представленными приборами. Кроме того, этот прибор хорошо зарекомендовал себя при обследовании энергетических объектов.

Инфракрасный линейный сканер «Аврора» имеет два основных режима работы:

- режим построения теплового профиля с отображением значений минимальной, максимальной и средней температур вдоль линии сканирования;
- режим построения тепловизионного кадра, позволяющий получить термокадр, аналогичный изображению, получаемому с помощью тепловизора. В этом режиме на экран монитора выводится телевизионное изображение исследуемого объекта, его термоизображение и цветовая шкала температур.

Совмещение телевизионного изображения с линией сканирования и термокадром позволяет отождествлять значение измеренной температуры с видимым изображением наблюдаемого объекта. На кадре воспроизводится температура в заданной точке, распределение температур вдоль произвольной линии поля сканирования. Может быть проведено сплошное обследование теплового поля объекта с фиксацией минимальной и максимальной температур.

Инфракрасный сканер ИКС «Аврора» хорошо зарекомендовал себя при проведении тепловизионных обследований энергоустановок МЭС Центра ФСК ОАО РА О «ЕЭС России», Восточных электрических сетей ОАО «Мосэнерго», Владимирской ПС 750 кВ, ПС 500 кВ «Белый Раст» (Московская обл.), Московского энергетического института, Московского нефтеперерабатывающего завода, комплекса зданий Московской мэрии, Завода им. Лихачева (ЗИЛ, Москва), ОАО «Спортивный комплекс «Олимпийский» (Москва), строительных и промышленных предприятий Калужской области, ОАО «НПП Электрогидродинамических агрегатов» (Москва) и др. Кроме того, ИКС «Аврора» активно использовался в Краснодарском центре энергосбережения при тепло-визионных обследованиях предприятий промышленности и коммунально-бытовой сферы.

Таблица 7.11. Характеристики наиболее распространенных тепловизоров

Прибор, фирма-изготовитель, страна	Характеристика				
	Диапазон измеряемых температур, °С	Точность измерения температур, °С	Рабочий спек- тральный диа- пазон, мкм	Фокальная матрица (элементы)	Габаритные размеры камеры, мм
Thermovision R 550, AGEMA, Швеция	-20...+450	±2	Охлаждение	320x240	Масса прибора, кг <u>220x132x140</u> 4,7
			3,6...5,0		
ThermaCAM SC1000, Inframatrix, США	-20...+450	±1	Жидкий азот	256x256	<u>210x114x90</u> 2,7
			3,4...5		
Model 760 Inframatrix, США	-10...+250	±1	Жидкий азот	194	<u>216x127x180</u> 3,0
			8...14		
Thermo Tracer TH5104, NEC, Япония	-10...+800	±1	Термоэлектрическое	233x256	<u>198x93x210</u> 2,5
			3,0...5,3		
Prism DS FLIR Systems Ins., США	-20...+450	±1	Термоэлектрическое	320x244	<u>222x127x140</u> 3,0
			3,6...5,0		
Термограф «ИРТИС-2000», ООО «ИРТИС», Россия	-20...+200	±1	Термоэлектрическое	256x256	<u>100x140x210</u> 1,8
			3,0...5,0		
			Жидкий азот		

Таблица 7.12. Характеристики наиболее распространенных инфракрасных сканеров

Технические данные	Компактный ИКС Varioscan-3022	Компьютерный термограф «ИРТИС-2000»	ИКС «Аврора»
Производитель	«InterEng Mebtechnik GmbH»	ООО «ИРТИС»	НПФ «Евросервис-XXI век»
Страна	Германия	Россия	Россия
Спектральный диапазон, мкм	2...5	3...5	3...5 Видимый диапазон*
Тип датчика	HgCdTe	HgCdTe	HgCdTe
Охлаждение	Термоэлектрическое	Жидкий азот ^{2*}	Термоэлектрическое
Время формирования кадра, с	1,2 ^{3*}	2 ^{3*}	1,5
Температурное разрешение при 30 °С, °С	0,12	0,05	0,05
Диапазон измерений, °С	—40...+1200	-20...+200	-20...+200
Геометрическое разрешение, мрад	3,0	2,0	5,0
Поле зрения, град	30x20	25x20	Изменяемое: 45×33, 38×28, 32×24, 25×18
Минимальная удаленность от объекта, м	0,2	0,2	0,3
Рабочая температура, °С	-10...+40	-10...+40	-20...+40
Температура хранения, °С	-25...+70	Нет данных	-25...+70
Потребляемая мощность, Вт	12	12	18
Масса, кг	4,6 (без аккумуляторов и штатива)	1,8 (без аккумуляторов, штатива, ноутбука и термоса)	1,4 (без аккумуляторов)
Габаритные размеры, мм	240x192x200	200x140x100	120x102x103
Дисплей	11,5 см цветной ЖКД	Нет	6,2 см цветной ЖКД
Внутренний блок памяти, число термограмм	25	Ноутбук	30
Интерфейсы	RS 232	RS232	RS432
Системное программное обеспечение	Со встроенной функцией анализа термограмм	Со встроенной функцией анализа термограмм	Со встроенной функцией анализа термограмм ^{4*}
Ориентировочная цена на территории РФ, тыс. долл. США	50,0	19,0	15,0

*Наличие видимого изображения объекта, полностью совмещенного с ИК-изображением, существенно упрощает дешифровку ИК-изображений и не требует применения дополнительных устройств регистрации (видеокамер, фотоаппаратов, диктофонов).

^{2*} Необходимо иметь специальное оборудование для производства и хранения жидкого азота. В комплект прибора должен входить термос, наполненный жидким азотом. Стоимость эксплуатации увеличивается на стоимость жидкого азота.

^{3*} Съемка производится только со штатива.

^{4*} Отчеты, генерируемые программным обеспечением, предусматривают полную совместимость с файлами среды Windows-95 и выше.