



ВВЕДЕНИЕ В ИНФРАКРАСНУЮ ТЕРМОГРАФИЮ И ТЕПЛОВИЗОРЫ

Работа тепловизоров основана на использовании принципов инфракрасной термографии. Тепловизоры используют как инструменты для снижения затрат, и даже для того, чтобы зарабатывать деньги, как диагностический инструмент для поиска неисправностей, обслуживания и обследования электрических систем, механических систем и ограждающих конструкций зданий.

ИНФРАКРАСНАЯ ТЕРМОГРАФИЯ

Инфракрасная термография – это наука использования электронно-оптических устройств для регистрации и измерения излучения и сопоставления его с температурой поверхностей. *Излучение* – это передача тепла в виде лучистой энергии (электромагнитных волн) без промежуточной среды, используемой для передачи. Современная инфракрасная термография использует электронно-оптические устройства для измерения потока излучения и на его основе вычисления температуры поверхности обследуемых конструкций или оборудования.

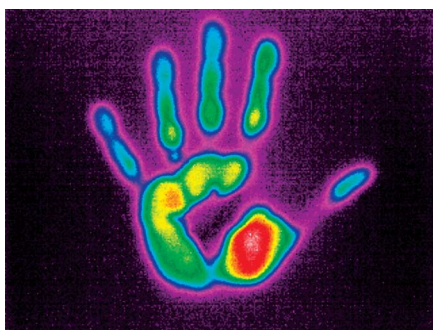
Люди всегда могли чувствовать инфракрасное излучение. Нервные окончания человеческой кожи могут регистрировать изменения температуры величиной $\pm 0.009^{\circ}\text{C}$ (0.005°F). Несмотря на свою высокую чувствительность, нервные окончания человека совершенно не подходят для неразрушающего теплового контроля.

Даже если бы люди обладали такой же способностью чувствовать тепло, как животные, которые могут находить тепловую добычу в темноте, все равно потребовался бы более совершенный инструмент для обнаружения тепла. Поскольку люди имеют физиологические ограничения способности чувствовать тепло, были разработаны сверхчувствительные к тепловому излучению механические

и электронные устройства. Эти устройства стали обычными для проведения теплового контроля при решении бесчисленного количества задач.

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Слово «инфракрасный» означает «за красным», что указывает на место, которое занимают эти длины волн в спектре электромагнитного излучения. Термин «термография» происходит от двух корней, которые означают «температурное изображение». Корни термографии уходят к немецкому астроному сэру Вильяму Гершелю, который в 1800 г. проводил эксперименты с солнечным светом.



Тепловое изображение остаточного тепла, переданного рукой при прикосновении к поверхности окрашенной стены, легко обнаружить с помощью тепловизора.

2 ВВЕДЕНИЕ В ТЕРМОГРАФИЮ

Гершель открыл инфракрасное излучение, когда пропускал солнечный свет через призму, и располагал чувствительный ртутный термометр на различных цветах для измерения температуры. Гершель обнаружил, что при переходе за красный цвет в область, известную как «невидимое тепловое излучение», температура повышалась. «Невидимое тепловое излучение» лежало в области электромагнитного спектра, которая сейчас называется инфракрасным излучением. Оно так же является электромагнитным излучением.

Через двадцать лет, немецкий физик Томас Зебек открыл термоэлектрический эффект. Это привело к открытию итальянским физиком Леопольдо Нобили термобатареи на основе ранних версий термопар, в 1829 г. Это простое контактное устройство основано на следующем явлении. При изменении температуры между двумя разнородными металлами появлялась разность потенциалов. Партнер Нобили, Македонии Меллони, вскоре превратил термобатарею в термостолбик (последовательное расположение термобатарей) и сфокусировал на нем тепловое излучение таким образом, что смог обнаруживать тепло тела с расстояния 9,1 м (30 футов).

В 1880 г., американский астроном Сэмюел Лэнгли использовал болометр для обнаружения тепла тела коровы с расстояния более 300 м (1000 футов). В болометре измеряется разность потенциалов, а изменение электрического сопротивления, связанное с изменением температуры. Сын сэра Вильяма Гершеля, сэр Джон Гершель, используя устройство, называемое эвапорографом, получил первое инфракрасное изображение в 1840 г. Формирование теплового изображения происходило за счет различной скорости испарения тонкой пленки масла, и его можно было увидеть в отраженном свете.

Тепловизор – это устройство, которое получает тепловое изображение в инфракрасной области спектра без прямого контакта с оборудованием. См. рис. 1-1. Первые модели тепловизоров были построены на фоторезистивных приемниках сопротивления. С 1916 по

1918 г. Американский изобретатель Теодор Кейс экспериментировал с фотоспротивлениями для получения сигнала не за счет нагрева, а благодаря прямому взаимодействию с фотонами. В результате был получен более быстрый, более чувствительный приемник излучения на основе эффекта фотопроводимости. В течение 1940 -1950-х гг. развитие тепловизионной технологии было связано с возрастающим применением для военных целей. Немецкие ученые обнаружили, что при охлаждении фоторезистивного приемника излучения, его характеристики улучшаются.

Тепловизоры для невоенных целей применялись не только до 1960х гг. Хотя ранние тепловизионные системы были громоздкими, медленными, имели низкую разрешающую способность, их использовали в промышленности для обследования систем передачи и распределения электроэнергии. В 1970х гг. достижения в области военных применений привели к появлению первых переносных систем, которые можно было использовать для диагностики зданий и неразрушающего контроля.

В 1970х гг. тепловизионные системы были прочными и надежными, однако качество изображений было низким по сравнению с современными тепловизорами. К началу 1980-х гг., тепловидение широко применялось в медицине, в основных отраслях промышленности, а так же для обследования зданий. Тепловизионные системы калибровались таким образом, чтобы можно было получать

ПОДСКАЗКА

Первые тепловизоры отображали тепловизионное изображение с помощью черно-белой электронно-лучевой трубки. Запись изображения можно было осуществлять только с помощью фотографа или магнитной ленты.

Тепловизоры

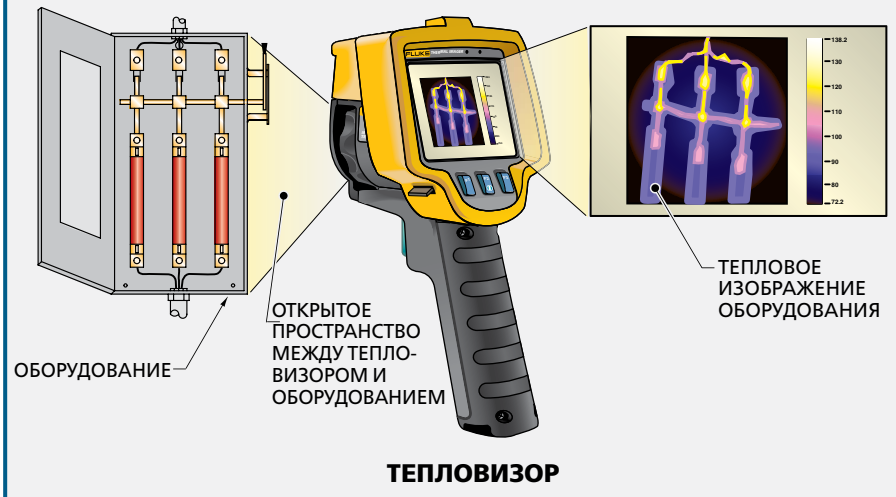


Рис. 1-1. Тепловизор – это прибор, который получает тепловое изображение в инфракрасной области спектра без непосредственного контакта с оборудованием.

полностью радиометрические изображения, чтобы радиометрические температуры можно было измерить по всему изображению. *Радиометрическое изображение* – это тепловое изображение, содержащее рассчитанные значения температур для всех точек на изображении.

На замену сжатому или сжиженному газу, который использовался для охлаждения тепловизоров, пришли более надежные улучшенные устройства охлаждения. Так же были разработаны и широко применялись менее дорогие тепловизионные системы на основе пировидиконов (пирозлектрических видиконных трубок). Хотя они не были радиометрическими, тепловизионные системы на основе пировидиконов имели небольшой вес, были переносными и работали без охлаждения.

В конце 1980-х гг. военные сделали доступными для широкого применения матричные приемники излучения (матрицы в фокальной плоскости, ФПА). *Матрицы в фокальной плоскости* состоят из массива

(обычно прямоугольного) инфракрасных приемников излучения, расположенных в фокальной плоскости объектива. См. **Рис. 1-2**.

Это был значительный прогресс по сравнению со сканирующими приемниками излучения, которые использовались с самого начала. Это привело к повышению качества изображения и пространственного разрешения. Типичные матричные приемники излучения современных тепловизоров имеют размер от 16x16 до 640x480 пикселей. Таким образом, пиксель является самым маленьким отдельным элементом матричного приемника излучения, который может улавливать инфракрасное излучение. Для специальных задач существуют приемники излучения, размер которых превышает 1000x1000 элементов. Первое число представляет собой количество вертикальных колонок, а второе – количество горизонтальных линий, отображаемых на дисплее. Например, матрица размером 160x120 элементов в сумме имеет 19200 пикселей (160 пикселей x 120 пикселей = 19200 пикселей всего).

Развитие технологии матриц в фокальной плоскости, использующих различные типы приемников излучения, далеко шагнуло, начиная с 2000 г. *Длинноволновые тепловизоры* – это тепловизоры, которые чувствительны

Матричные приемники излучения



Рис. 1-2. Матричный приемник излучения (матрица в фокальной плоскости, ФПА) – это устройство получения изображения, состоящее из массива (обычно прямоугольного) чувствительных к излучению пикселей, расположенных в фокальной плоскости объектива.

к инфракрасному излучению в диапазоне длин волн от 8 до 15 мкм. *Микрон (мкм)* – это единица измерения длины, равная одной тысячной миллиметра (0,001 м). *Средневолновые тепловизоры* – это тепловизоры, чувствительные к инфракрасному излучению в диапазоне длин волн от 2,5 мкм до 6 мкм. В настоящее время существуют как длинноволновые, так и средневолновые полностью радиометрические тепловизионные системы, часто с функцией наложения изображений и температурной чувствительностью 0,05 °C (0,09°F) и менее.

За прошедшее десятилетие стоимость таких систем снизилась больше чем в десять раз, а качество значительно повысилось. Кроме того, значительно возросло использование программного обеспечения для обработки изображений. Практически все современные инфракрасные системы используют программное обеспечение для облегчения анализа и подготовки отчетов. Отчеты можно быстро создать и отправить в электронном виде через Интернет, либо сохранить в одном из широко используемых форматов, таких, как PDF, а так же записать на одном из цифровых устройств хранения данных различных типов.

ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ ТЕПЛОВИЗОРОВ

Полезно иметь общее представление о том, как работают тепловизионные системы, поскольку для термографистов чрезвычайно важно учитывать пределы возможностей оборудования. Это позволяет более точно выявлять и анализировать возможные проблемы. Тепловизоры предназначены для регистрации инфракрасного излучения, которое испускается объектами. **См. Рис. 1-3.** Объект обследуется с помощью тепловизора.

Инфракрасное излучение фокусируется с помощью оптики тепловизора на приемнике излучения, который выдает сигнал, обычно в виде изменения напряжения или электрического сопротивления. Полученный сигнал регистрируется электроникой тепловизионной системы. *Сигнал*, который дает тепловизор, превращается в электронное изображение (термограмму), которое отображается на экране дисплея. Термограмма – это изображение объекта, обработанное электроникой для отображения на дисплее таким образом, что различные градации цвета соответствуют распределению инфракрасного излучения по поверхности объекта. Таким образом, термографист может просто увидеть термограмму, которая соответствует тепловому излучению, приходящему с поверхности объекта.

Объекты

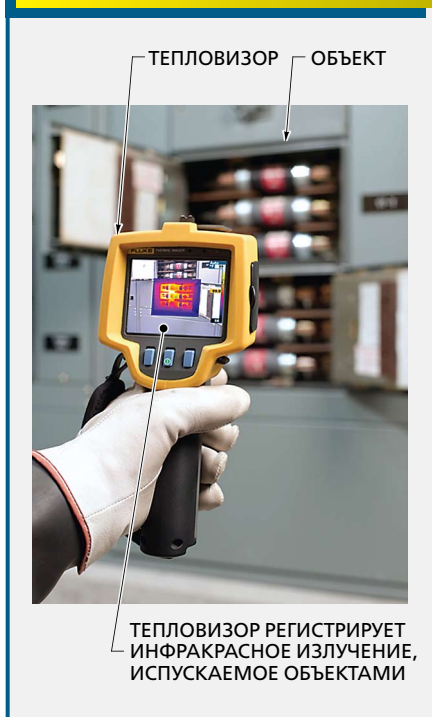
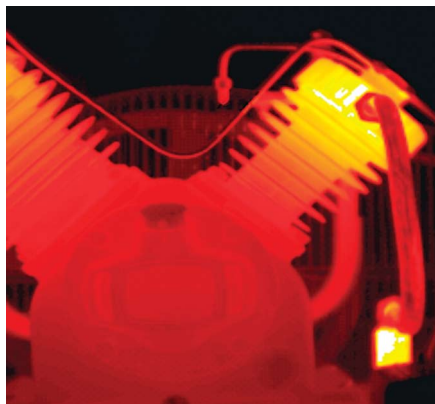


Рис. 1-3. Объект обследуется с помощью тепловизора. Назначение тепловизора – регистрация инфракрасного излучения, испускаемого объектом



Термограмма – это обработанное электронной изображением на дисплее, где различные градации цвета соответствуют распределению инфракрасного излучения по поверхности объекта.

Объективы. Тепловизоры имеют как минимум один объектив. Объектив тепловизора собирает инфракрасное излучение и фокусирует его на приемнике излучения. Приемник излучения выдает сигнал и создает электронное (тепловое) изображение или термограмму. Объектив тепловизора используется для того, чтобы собрать и сфокусировать приходящее инфракрасное излучение на приемнике излучения. Объективы большинства длинноволновых тепловизоров изготовлены из германия. Пропускание объективов улучшается за счет тонкопленочных просветляющих покрытий.

Компоненты тепловизора

Обычный тепловизор имеет несколько общих для всех подобных приборов компонентов, включающих объектив, крышку объектива, дисплей, приемник излучения и обрабатывающую электронику, органы управления, устройства хранения данных, а так же программное обеспечение для обработки данных и создания отчетов. Эти компоненты могут изменяться в зависимости от типа и модели тепловизионной системы. См. Рис. 1-4.

ПОДСКАЗКА

Из-за постоянной необходимости экономить энергоресурсы, муниципалитеты и правительственные агентства производят авиационную инфракрасную съемку с помощью военных авиационных тепловизионных систем. Такая съемка необходима для того, чтобы общины, жителей и бизнес могли получить информацию о тепловых потерях в зданиях.

Тепловизоры



Рис. 1-4. Обычные тепловизоры имеют несколько общих компонентов, к которым относятся объектив, крышка объектива, дисплей, органы управления и ручка с ремешком.



Так же тепловизоры обычно имеют футляр для переноски и хранения прибора, программного обеспечения и другого вспомогательного оборудования для использования в полевых условиях.

Дисплей. Тепловое изображение отображается на жидкокристаллическом дисплее (ЖКД), расположенном на тепловизоре. Дисплей должен иметь большой размер и высокую яркость, чтобы изображение на нем можно было легко увидеть в различных условиях освещенности в различных местах работы. На дисплее часто отображается дополнительная информация, такая как уровень заряда аккумулятора, дата, время, температура объекта (в °F, °C, или K), видимое изображение и цветовая шкала температур. См. Рис. 1-5.

Приемник излучения и схемы обработки сигнала. Приемник излучения и схемы обработки сигнала используются для превращения инфракрасного излучения в полезную

информацию. Тепловое излучение от объекта фокусируется на приемнике излучения, который обычно изготовлен из полупроводниковых материалов. Тепловое излучение генерирует измеряемый сигнал на выходе приемника излучения. Сигнал обрабатывается электронными схемами внутри тепловизора, чтобы на дисплее прибора появилось тепловое изображение.

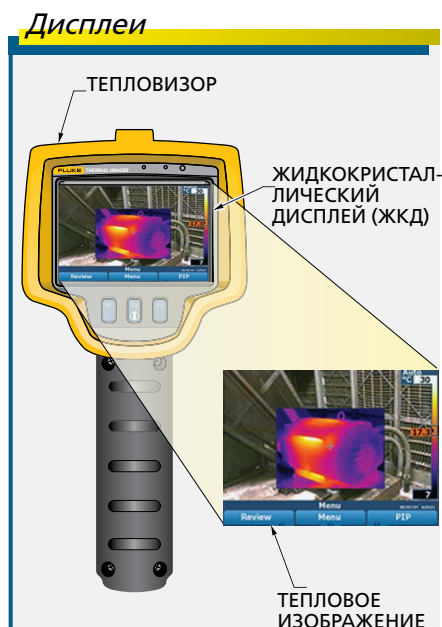


Рис. 1-5. Тепловое изображение отображается на жидкокристаллическом дисплее (ЖКД) тепловизора.

Органы управления. С помощью органов управления можно выполнить разнообразные электронные настройки для улучшения теплового изображения на дисплее. В электронном виде изменить такие настройки, как диапазон температур, тепловой уровень и диапазон, цветовая палитра и настройки слияния изображения. Так же можно установить значение коэффициента излучения и отраженной фоновой температуры. См. Рис. 1-6.

Органы управления



Рис. 1-6. С помощью органов управления можно изменить значение необходимых переменных, таких как диапазон температур, уровень и ширина диапазона, а так же другие настройки.

Устройства хранения данных. Электронные цифровые файлы, содержащие тепловые изображения и дополнительные данные, сохраняются на различных типах электронных карт памяти или устройств хранения и передачи данных. Многие инфракрасные тепловизионные системы так же позволяют сохранять

дополнительные голосовые и текстовые данные, а так же соответствующее видимое изображение, полученное с помощью встроенной камеры, работающей в видимом спектре.

Программное обеспечение для обработки данных и создания отчетов. Программное обеспечение, которое используется с большинством современных тепловизионных систем, является функциональным и удобным для пользователя. Цифровые тепловые и видимые

изображения импортируются на персональный компьютер, где их можно просмотреть с использованием различных цветовых палитр, произвести другие настройки всех радиометрических параметров, а так же воспользоваться функциями анализа. Обработанные изображения можно вставить в шаблоны отчетов и либо отправить на принтер, либо сохранить в электронном виде, или отправить заказчику через Интернет.



ТЕРМОГРАФИЯ И ОКУПАЕМОСТЬ ИНВЕСТИЦИЙ

С помощью тепловизоров термографию можно использовать для решения множества критических задач в промышленных и коммерческих условиях, включая поиск неисправностей и обслуживание оборудования, а так же обследование ограждающих конструкций зданий. Тепловизоры обычно считаются дорогими. Однако расходы, связанные с обслуживанием и незапланированным простоем производства могут быть значительно снижены при использовании тепловизоров для выполнения профилактического и предупредительного обслуживания.

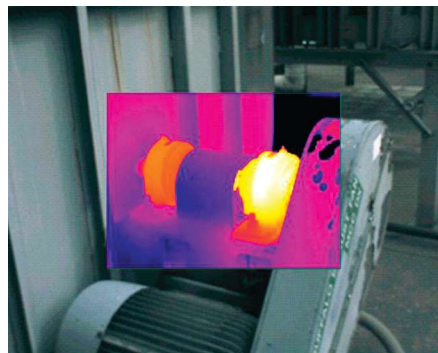
ПОИСК НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Тепловидение играет важную роль при поиске неисправностей в работе коммерческих и промышленных систем. При ненормальном состоянии или поведении оборудовании зачастую возникают вопросы о его состоянии. Очевидными признаками могут быть значительные вибрации, звуки или показания температуры. При отсутствии видимых проявлений основную причину проблемы бывает трудно или невозможно разглядеть.

Тепловая сигнатура – это искусственное цветное изображение инфракрасного излучения или тепла, испускаемого объектом. Сравнение тепловых сигнатур нормально работающего оборудования с оборудованием, состояние которого проверяется, дает великолепный способ поиска неисправностей. См. Рис. 2-1. Основные преимущества инфракрасной термографии заключаются в том, что проверку можно произвести быстро и без вмешательства в оборудование. Поскольку тепловизоры не требуют непосредственного контакта, их можно также использовать в то время, как оборудование или его компоненты находятся в работе.

Если даже ненормальное тепловое изображение и не может быть полностью оценено термографистом, его можно использовать для

того, чтобы определить необходимость дополнительных проверок. Например, можно произвести быстрый осмотр электродвигателя и выяснить, есть ли какие-то аномалии в поведении подшипников или сцеплений. Подшипник двигателя, который выглядит значительно теплее корпуса двигателя, может иметь проблемы со смазкой или соосностью. На проблемы с соосностью может так же указывать то, что одна часть сцепления теплее другой. См. Рис. 2-2.



Горячая крышка подшипника является признаком возможных проблем с соосностью, смазкой, или проблем с двигателем или с оборудованием, с которым он соединен.

Тепловые сигнатуры

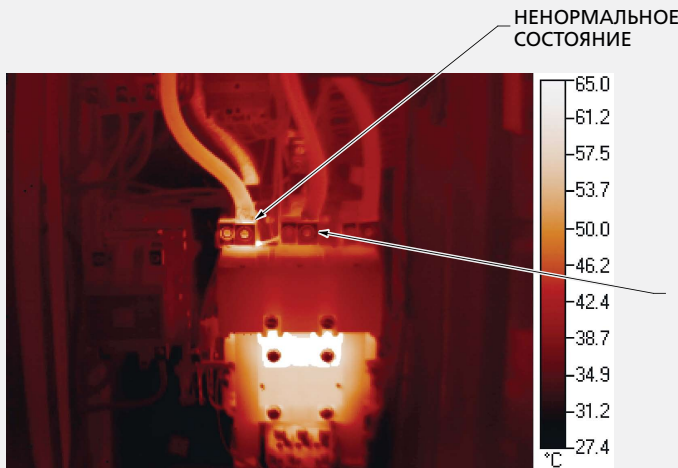


Рис. 2-1. Тепловые сигнатуры работающего оборудования могут быстро указать на нормальное и ненормальное состояние.

Поиск неисправностей в подшипниках двигателей

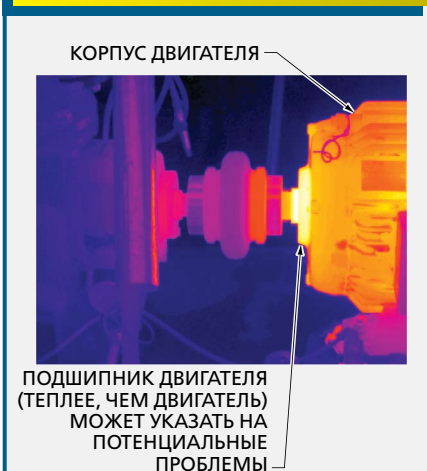


Рис. 2-2. Подшипник двигателя, который значительно теплее, чем корпус двигателя, указывает на возможные проблемы со смазкой или соосностью.

Ключом к успешному поиску неисправностей с использованием термографии является понимание основных условий, необходимых для выявления возможных проблем или ненормального состояния, если они присутствуют, в любой части оборудования. Например, нет смысла искать неисправности разъединителя с помощью тепловизора, если он не находится в работе, поскольку потенциальные проблемы (места перегрева) не будут видны до тех пор, пока на разъединитель не будет подано напряжение. Точно так же, для успешного выявления неисправности конденсационного горшка, его необходимо наблюдать на протяжении всего рабочего цикла.

Выяснить, какие условия необходимо соблюдать для выявления неисправности конкретного элемента оборудования не всегда просто. Кроме опыта, термографисту необходимо глубокое понимание таких процессов, как передача тепла, радиометрия, использование тепловизора, а так же работы оборудова-

ния и его неисправностей. *Радиометрия* – это регистрация и измерение электромагнитного излучения, в частности, в инфракрасной области спектра.

Профилактическое обслуживание

Профилактическое обслуживание (ПО) – это плановые работы, необходимые для поддержания оборудования в наилучшем рабочем состоянии. Профилактическое обслуживание сокращает количество неисправностей и отказов и в то же время обеспечивает оптимальную эффективность и безопасные условия производства. Оно позволяет продлить срок службы оборудования, сократить время простоя и повысить общую эффективность производства. Виды профилактического обслуживания и частота его проведения для каждого элемента оборудования определяются требованиями производителя, руководствами по эксплуатации оборудования, публикациями в отраслевых изданиях и опытом обслуживающего персонала.

Стратегия, направленная на обеспечение глубокого понимания рабочего состояния оборудования на основе оценки и контроля его состояния, является важной частью программ профилактического обслуживания. Программы профилактического обслуживания, которые включают оценку и контроль состояния оборудования, гораздо проще выполнять с использованием тепловизионного оборудования. При наличии тепловых изображений оборудования, принятие решений о ремонте/замене становится более эффективным, общий объем расходов сокращается, а надежность работы оборудования повышается. Если производство требует, чтобы элемент оборудования был полностью работоспособным, руководство предприятия может быть полностью уверенным в том, что он будет полностью готов к работе.

Обслуживание – это сложный набор различных мероприятий. Не так давно было обнаружено, что многие старые методы,

такие как профилактическое обслуживание, часто порождают больше проблем, чем решают. Более того, они часто не окупаются.

Диагностическое обслуживание

Диагностическое обслуживание – это контроль износа и соответствия характеристик оборудования предварительно установленным допускам для предупреждения возможных неисправностей или отказов. Производится сбор и анализ данных о работе оборудования для выявления трендов в работе и характеристик отдельных компонентов. Ремонт производится по мере необходимости.

Диагностическое обслуживание часто требует значительных вложений в контрольно-диагностическое оборудование и обучение персонала. Его обычно применяют для дорогого или критичного для работы оборудования. Данные получаемые с помощью контрольно-диагностического оборудования регулярно анализируются для определения, находятся ли рабочие характеристики в допустимых пределах. См. Рис. 2-3. Если рабочие характеристики выходят за допустимые пределы, производится обслуживание. Затем, после выполнения обслуживания производится тщательный контроль оборудования. Если проблема снова возникает, производится анализ использования и конструкции оборудования, и вносятся необходимые изменения.

При удачной программе диагностического обслуживания обычно можно сократить профилактическое обслуживание. Определенные мероприятия по обслуживанию, такие как смазка и чистка, выполняются тогда, когда они действительно необходимы, а не в соответствии с фиксированным графиком. Термография и тепловидение могут использоваться для определения состояния оборудования и если возникают вопросы с его состоянием, они так же могут использоваться для контроля оборудования до тех пор, пока не появится возможность произвести обслуживание.

Приемочные испытания – это испытания, которые производятся при начальной установке оборудования, либо при замене компонентов, для установки начального опорного состояния оборудования. Опорное состояние используется для проверки рабочих характеристик, определенных производителем, или для последующего сравнения. Приемочные испытания нового или отремонтированного оборудования важны для экономических программ диагностического обслуживания.

Не важно, производится ли установка нового пульта управления двигателями, кровли, паропровода или теплоизоляции здания, термография используется для регистрации действительного состояния оборудования на момент приемки. Тепловое изображение можно использовать

для проверки правильности установки. Если в установке обнаружены недостатки, их можно сразу же исправить, или, если позволяют обстоятельства, их можно контролировать до момента, когда будет запланирован ремонт.

Независимо от используемых на предприятии программ обслуживания, использование термографии и тепловизоров дает преимущества. При их использовании для обслуживания и поиска неисправностей, преимуществами являются сокращение простоя оборудования и увеличение времени в работе. Другие существенные преимущества заключаются в окупаемости за счет надежности обслуживания, сокращения расходов за счет сокращения затрат времени и общее снижение напряжения у обслуживающего персонала

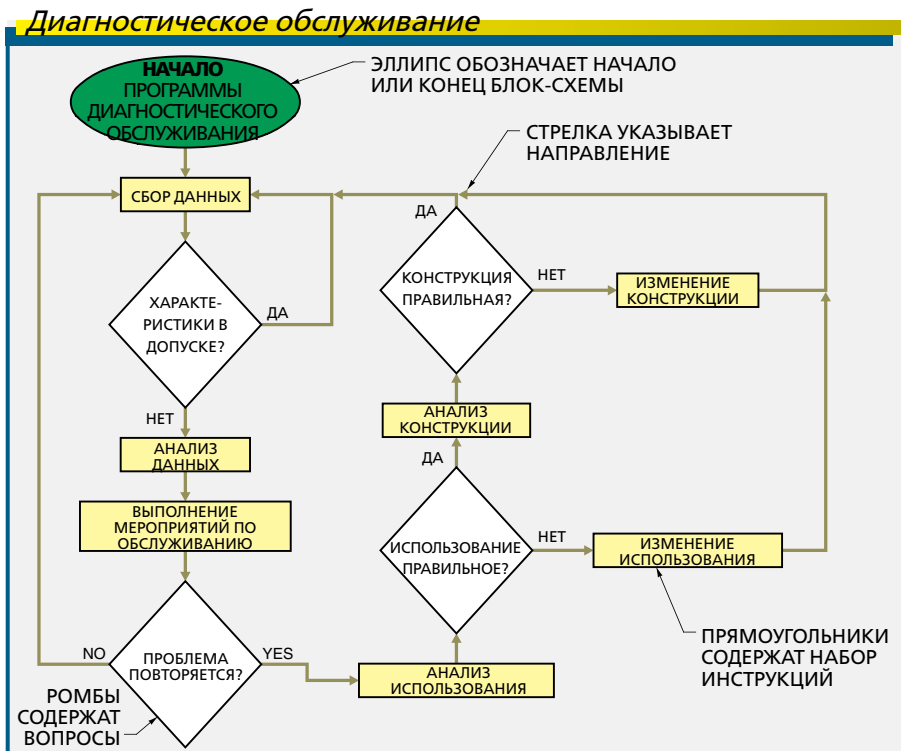


Рис. 2-3. Диагностическое обслуживание чаще всего применяется для дорогостоящего или критичного оборудования на предприятии.



ОБУЧЕНИЕ И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Тепловизоры можно использовать для решения широкого спектра задач в промышленности и коммерции. Многие из этих задач могут быть связаны с потенциальной опасностью, и такие виды опасности, как электрооборудование под напряжением или большая высота, являются обычными. Для эффективного и безопасного решения требуемых задач необходимо соответствующее обучение использованию тепловизоров, а так же следование правилам техники безопасности. Для обучения используются различные опубликованные стандарты и методики. *wr*

КВАЛИФИКАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ ТЕРМОГРАФИСТОВ

Научиться использовать современные тепловизоры сравнительно просто. Это можно сделать с помощью базовых тренингов и практических занятий. Однако правильная интерпретация тепловых изображений часто является более трудной задачей. Она требует не только понимания задачи, для которой применяется тепловидение, но так же дополнительного, более широкого обучения и практического опыта использования тепловизоров.

Чтобы получить максимальную окупаемость термографии, важно подтверждать квалификацию и сертифицировать термографистов. Независимо от того, для чего применяется термография, квалификация термографиста основывается на его обучении, опыте и прохождении экзаменов на соответствие одной из трех категорий сертификации. См. Рис. 3-1.

И хотя сертификация термографиста – это тоже вложения, но именно эти вложения обычно дают наибольшую окупаемость. Сертифицированный персонал не только обеспечивает проведение обследований более высокого качества, их обследования так же являются технически более последовательны-

ми. Несертифицированные термографисты с большей вероятностью могут допустить дорогостоящие опасные ошибки. Эти ошибки часто приводят к серьезным последствиям, таким как неточные рекомендации касательно критичности обнаруженных проблем, или вообще пропуск проблем. Хотя соответствующая квалификация является важной, для получения результатов высокого качества так же важно иметь утвержденные методики проведения обследования.

Уровни сертификации термографистов	
УРОВЕНЬ 1	Имеет достаточную квалификацию для получения данных высокого качества и сортировки данных на основе сформулированных в письменном виде критериев «годен/негоден».
УРОВЕНЬ 2	Имеет достаточную квалификацию для настройки и калибровки оборудования, интерпретации данных, создания отчетов и надзора за персоналом Уровня 1.
УРОВЕНЬ 3	Имеет достаточную квалификацию для разработки методик обследования, интерпретации соответствующих кодов и управления программами, включая надзор или проведение тренингов и экзаменов.

Рис. 3-1. Существует три уровня сертификации термографистов.

В США сертификация производится работодателем в соответствии со стандартами Американского общества неразрушающего контроля. *Американское общество неразрушающего контроля (ASNT)* – это организация, которая помогает создавать безопасное окружение, обслуживая профессии связанные с неразрушающим контролем и продвигая технологии неразрушающего контроля с помощью публикаций, сертификации, исследований и конференций. В других странах сертификация производится центральным органом по сертификации, который соответствует стандартам Международной организации по стандартизации. *Международная организация по стандартизации (ISO)* – это неправительственная международная организация, в которой состоят организации по стандартизации из более чем 90 стран.

В обеих моделях, квалификация основывается на соответствующем обучении, как описано в соответствующих стандартах. Так же требуется наличие квалификационного периода и какая-то форма письменного и практического экзамена.

ПОДСКАЗКА

Перед выполнением тепловизионного обследования, термографист должен просмотреть планируемый маршрут обследования, чтобы сделать его максимально эффективным и позаботиться о необходимых мерах безопасности.

БЕЗОПАСНОСТЬ НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ

Частью любой программы сертификации является ознакомление с присутствующими опасностями, связанными с проведением обследования, а так же с техниками и навыками, необходимыми для обеспечения безопасности работы. То, что составляет

технику безопасности при работе, во многом определяется здравым смыслом, однако при решении отдельных задач часто приходится применять специальные средства. Например, термографисты, обследующие электрические системы, могут подвергаться большей опасности дугового разряда.

Во многих случаях они производят обследование оборудования под напряжением, в котором при открытии крышек может возникнуть дуговой разряд между фазами или между фазой и землей. *Дуговой разряд* – это высокотемпературный разряд, возникающий из-за электрического пробоя воздуха. Температуры при дуговом разряде могут достигать 35,000°F (19,427°C).

Дуговой разряд часто сопровождается взрывом, который возникает, когда воздух, окружающий электрооборудование, становится ионизированным и проводящим. Опасность дуговых разрядов является самой высокой для электрических систем с напряжением, равным и выше 480 В.

Допустимое расстояние для защиты от дугового разряда – это расстояние, на котором требуется использование средств индивидуальной защиты для предотвращения ожогов в случае возникновения электрического пробоя. **См. Рис. 3-2.** Хотя цепи, которые необходимо отремонтировать, всегда должны быть отключены, существует вероятность, что в пределах допустимого расстояния будут находиться цепи под напряжением. Поэтому, необходимо использовать барьеры, такие как изолирующие коврики, а так же соответствующие средства индивидуальной защиты для защиты от электрического пробоя. Несмотря на это, последствия дугового разряда могут привести к смерти и травмам. Всегда следует соблюдать требования техники безопасности.

Хотя опасность дугового разряда можно сократить, избегая открывать крышки или дверцы корпусов, это так же сводит на нет большинство преимуществ термографии, поскольку мы не можем видеть сквозь крышки корпусов. **См. Рис. 3-3.** В то же время сейчас на многих шкафах устанавливаются специ-

Безопасные расстояния				
Номинал системы (напряжение, диапазон напряжений между фазами)	Ограничение по минимально допустимому расстоянию		Расстояние, ближе которого запрещено приближаться (допускается кратковременное ненамеренное пересечение)	Границы запрещенного расстояния
	Оголенный подвижный проводник	Оголенный фиксированный элемент цепи		
0 до 50	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д
51 до 300	10'-0"	3'-6"	Не допускать контакта	Не допускать контакта
301 до 750	10'-0"	3'-6"	1'-0"	0'-1"
751 до 15,000	10'-0"	5'-0"	2'-2"	0'-7"

* В вольтах

Рис. 3-2. Минимально допустимые границы – это предельное расстояние, на котором требуется использование средств индивидуальной защиты во избежание ожогов в случае возникновения пробоя.

Электрические шкафы



Рис. 3-3. Если электрические шкафы должны быть открыты, необходимо тщательно разработать и соблюдать методики, которые уменьшат риск электрического пробоя.

альные смотровые окна, прозрачные в инфракрасной области спектра. Такие устройства уменьшают опасность дугового разряда и позволяют получить хорошие результаты

Если электрические шкафы необходимо открывать, то следует разработать, внедрить и тщательно соблюдать методики для уменьше-

ния опасности электрического пробоя. Стандарт Национальной ассоциации пожарной безопасности 70E – это один из нескольких стандартов, который можно использовать при разработке подобных методик.

Регулярные обследования электрооборудования могут быть более безопасными и эффективными, если выполняются группами. Группа может состоять из двух человек, таких как термографист и квалифицированный специалист, который открывает шкафы, измеряет нагрузки и затем обеспечивает безопасное закрытие после выполнения работы. *Квалифицированный специалист* может быть человеком, который имеет необходимые знания о конструкции и работе, а так же навыки работы с электрического оборудования, прошел инструктаж по технике безопасности и имеет соответствующий допуск на выполнение работ.

Работы по обследованию зданий обычно менее опасны. Однако существует опасность при работе в подполе или на чердаках. Так же необходимо соблюдать осторожность при работе на площадках, где ведутся строительные работы.

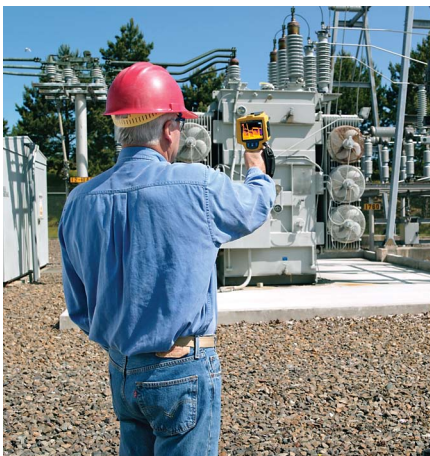
Термографисты, которые работают в различных промышленных условиях, должны всегда принимать во внимание различные опасности, включая возможность оступиться или упасть, а так же опасность, которую представляют замкнутые пространства. Во многих условиях может потребоваться яркая одежда. При работе на крышах следует остерегаться падений, не только на краю крыши, но так же

и просто на участках с различной высотой или на участках с ослабленным настилом кровли. На крышах никогда не следует работать в одиночку.

Кроме того, необходимо соблюдать меры предосторожности при работе ночью. Термографист может столкнуться с ночной слепотой, когда смотрит на тепловое изображение на ярком дисплее тепловизионной системы. *Ночная слепота* – это состояние, которое возникает, когда глаза термографиста адаптируются к яркой подсветке дисплея и не адаптируются для того, чтобы видеть темные объекты.

Несчастные случаи обычно происходят, когда работа не запланирована, или если природа запланированной работы изменилась, а план остался без изменений. Необходимо всегда разрабатывать план безопасной работы и следовать ему. При изменении обстоятельств, план необходимо пересмотреть и внести необходимые изменения.

Управление по охране труда и промышленной гигиене – это министерство в Соединенных Штатах, сформированное в соответствии с Законом об охране труда и здоровья 1970 г., который требует, чтобы работодатели обеспе-



Тепловизионное обследование высоковольтного электрооборудования должно производиться с безопасного расстояния.

чивали безопасные условия работы своим сотрудникам. Например, Управление по охране труда требует, чтобы в рабочих зонах не было источников опасности, которые могут привести к серьезным травмам. Постановления Управления по охране труда поддерживаются правительством США, и планы безопасной работы можно разработать в соответствии с нормами Управления по охране труда.

СТАНДАРТЫ И УТВЕРЖДЕННЫЕ МЕТОДИКИ ОБСЛЕДОВАНИЯ

Утвержденные методики являются важными для обеспечения результатов высокого качества, например, испечь пирог без рецепта будет гораздо тяжелее, чем когда имеется рецепт. Утвержденные методики можно назвать «рецептами успешного выполнения работы».

Создание таких «рецептов успешного выполнения работы» при вложении средств не обязательно должно быть трудным. Обычно, полезно привлечь небольшую группу лиц, которые имеют необходимый опыт проведения обследований, чтобы учесть различные точки зрения, различный опыт и сферы ответственности. После разработки методики обследований, она должна пройти тщательные испытания, а затем необходим ее периодический пересмотр сертифицированным персоналом, чтобы она не устаревала.

Существует множество стандартных методик, которые могут служить основой для создания простых методик обследования. Например, профессиональные организации совместно с Международной организацией по стандартизации и Американским обществом по испытанию материалов разработали множество соответствующих стандартов. *Американское общество по испытанию материалов* – это техническое сообщество и основной разработчик рекомендуемых стандартов, сопутствующей технической информации, а также услуг, которые направлены на обеспечение охраны здоровья и безопасности. Американ-

ское общество по испытанию материалов так же вносит вклад в надежность продукции, материалов и услуг.

Эти стандарты помогают определить рабочие характеристики инфракрасных систем. Они так же описывают передовой опыт в проведении обследований теплоизоляции зданий, поиска воздушных течей, обследования электрических и механических систем, кровель, а так же покрытий автодорожных мостов. В отдельных странах другие организации по стандартизации могут иметь дополнительные стандарты, которые можно использовать. Например, существует множество стандартов по электробезопасности, которые могут непо-

средственно применяться в работе термографистов, производящих обследование электрических систем.

Благодаря большому разнообразию тепловизоров, сегодня которые существуют, а так же благодаря широкому диапазону цен, инфракрасная технология стала легко доступной. Однако, организации, которые вкладывают средства в разработку серьезных программ использования термографии, в методики проведения обследований, а так же в квалифицированный персонал, имеют явное преимущество. Обычно они получают долговременные преимущества, которых другие организации могут и не получить. См. Рис. 3-4.

Тепловизоры



ДЛЯ ОБЫЧНЫХ ЗАДАЧ
ОБСЛУЖИВАНИЯ, ПОИСКА
НЕИСПРАВНОСТЕЙ И ПРОВЕДЕНИЯ
ОБСЛЕДОВАНИЙ



ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ, СЛОЖНЫХ ЗАДАЧ,
ИЛИ ЗАДАЧ ТРЕБУЮЩИХ ИНТЕНСИВНОГО
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ, И РАСШИРЕННЫХ
ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОБНАРУЖЕНИЯ И
АНАЛИЗА

Рис. 3-4. Существуют различные тепловизоры, предназначенные для разных задач и видов обследований.



ТЕОРИЯ, ПРИМЕНЯЕМАЯ НА ПРАКТИКЕ

Теория термодинамики основывается на различиях теплопроводящих свойств различных материалов. Тепловизоры производят измерения на основе законов термодинамики. Специалисты должны понимать ограничения термографии и тепловизоров при обследовании различных конструкций, оборудования и материалов.

ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

Термодинамика – это наука о том, как тепловая энергия (тепло) передается, преобразуется и влияет на любое вещество. Для использования современного инфракрасного оборудования важно понимать основные принципы, как передачи тепла, так и физики излучения. Несмотря на все возможности современного оборудования, оно все еще не способно мыслить. Ценность современного оборудования определяется способностью специалиста по тепловидению интерпретировать данные, что требует практического понимания основ термодинамики и физики излучения.

Энергия – это способность выполнять работу. Энергия может принимать различные формы. Например, угольные электростанции преобразуют химическую энергию ископаемого топлива в тепловую энергию путем сжигания. Она, в свою очередь, производит механическую энергию, или движение в турбине генератора, которая затем преобразуется в электрическую энергию. При всех таких превращениях, хотя энергию становится все труднее использовать, никакая ее часть не теряется.

Первый закон термодинамики утверждает, что когда механическая работа преобразуется в тепло, или когда тепло преобразуется в работу, количество работы и теплоты всегда равны. Для термографистов преимуществом является тот факт, что побочным продуктом

практически всех превращений энергии, является тепло, или тепловая энергия. Энергию невозможно создать или уничтожить, ее можно только преобразовать.

Температура – это мера относительного нагрева или холодности тела по сравнению с другими телами. Мы неосознанно делаем сравнения с температурой нашего тела, или с температурой воздуха, или с точками кипения или замерзания воды.

Второй закон термодинамики утверждает, что если существует разность температур между двумя объектами, то теплота передается от более теплых участков (имеющих большее количество тепловой энергии) к более холодным участкам (имеющим меньшее количество тепловой энергии) до тех пор, пока не будет достигнуто состояние термодинамического равновесия. Передача тепла может приводить либо к переходу электронов, либо к увеличению вибрации атомов или молекул. Это важно, поскольку именно эти эффекты используются при измерении температуры.

СПОСОБЫ ПЕРЕДАЧИ ТЕПЛОТЫ

Тепловая энергия может передаваться любым из трех способов: теплопроводность, конвекция или излучение. Каждый способ

может наблюдаться как в стационарном, так и в нестационарном процессе. При стационарном процессе, скорость передачи остается постоянной и направление не изменяется со временем. Например, полностью прогретая машина, работающая с постоянной нагрузкой, передает тепло окружающим объектам с постоянной скоростью. В действительности, не существует идеальных стационарных тепловых потоков. Всегда существуют небольшие нестационарные процессы или флуктуации, однако для практических целей ими обычно можно пренебречь.

Теплопроводность – это передача тепловой энергии от одного объекта к другому при их прямом контакте. Конвекция – это передача теплоты, которая наблюдается при перемещении молекул и/или потоков, циркулирующих между теплыми и холодными областями в воздухе, газе или жидкости. *Излучение* – это передача тепла в виде лучистой энергии (электромагнитных волн) без промежуточной среды. Когда машина нагревается или остывает, происходит нестационарная передача теплоты. Понимание этих соотношений является важным для термографистов, потому что передача тепла часто связана с температурой объекта.

Понятие теплоемкости

Теплоемкость – это способность материала поглощать и сохранять теплоту. Когда теплота передается с различной скоростью, или изменяется направление передачи, то говорят о нестационарном процессе.

Кроме того, когда различные материалы находятся в нестационарном состоянии, происходит обмен различным количеством теплоты, поскольку изменяется температура. Например, для изменения температуры воздуха в комнате требуется очень небольшое количество энергии, по сравнению с количеством энергии, которое требуется для изменения температуры аналогичного объема воды в бассейне. Теплоемкость описывает, сколько энергии необходимо передать или отнять у вещества для изменения температуры. Как быстро или

медленно происходят такие изменения, так же зависит от перемещения тепла.

Хотя теплоемкость, то, что мы называем связью между количеством теплоты и температурой, может вызвать затруднения, для термографиста она может быть полезной. Например, обнаружение уровня жидкости в емкостях возможно благодаря разности между теплоемкостью воздуха и жидкости. Когда емкость находится в нестационарном состоянии, два вещества часто могут находиться при различных температурах.

Теплопроводность

Теплопроводность – это передача тепловой энергии от одного объекта к другому при непосредственном контакте. Передача теплоты посредством теплопроводности в основном наблюдается в твердых телах и в некоторой степени в жидкостях, поскольку более теплые молекулы передают свою энергию непосредственно более холодным соседним молекулам. Например, теплопроводность наблюдается, если прикоснуться к теплой чашке кофе или к холодной банке с безалкогольным напитком.

Скорость, с которой происходит передача тепла, зависит от коэффициента теплопроводности вещества и разности температур (ΔT или разность температур) между объектами. Эти простые соотношения более строго описываются законом Фурье. Например, если взять горячую чашку кофе в перчатках, происходит слабый обмен теплом по сравнению с тем, если взять ее голой рукой. Теплая чашка кофе не передает так много энергии, как горячая, поскольку разность температур не настолько велика. Подобным образом, когда энергия передается с одинаковой скоростью, но через большую площадь, то передается большее количество энергии.

Теплопроводящие материалы – это материалы, которые быстро передают тепло. Обычно металлы имеют высокую теплопроводность. Но даже теплопроводность металлов может зависеть от типа металла. Например, железо имеет меньшую теплопроводность, чем алю-

миний. Изоляторы – это материалы, которые передают тепло неэффективно. Материалы, которые плохо проводят тепло, называются теплоизоляционными. Обычно это простые материалы, такие как изоляционная пена или многослойная ткань, которые содержат маленькие полости с воздухом и замедляют распространение энергии. **См. Рис. 4-1.**

Конвекция

Конвекция – это передача тепла, которая наблюдается при циркуляции потоков между теплыми и холодными областями в жидкостях. Конвекция наблюдается как в жидкостях, так и в газах и сопровождается массовым перемещением молекул с различными температурами. Например, грозовые облака – это конвекция, которая наблюдается в большом масштабе, когда теплые массы воздуха поднимаются, а холодные опускаются. В малом масштабе конвекция наблюдается, когда холодные сливки, которые наливают в чашку с горячим кофе, опускаются на дно чашки.

Конвективная передача тепла так же частично зависит от площади и разности температур, например, радиатор большого двигателя отдает больше тепла, чем радиатор маленького двигателя, из-за большей площади. На конвективный перенос тепла так же влияют другие факторы, такие, как скорость движения жидкости, направление потока жидкости и состояние поверхности объекта. Радиатор двигателя, который засорен пылью, отдает тепло не так эффективно, как чистый радиатор. Как в случае с теплопроводностью, большинство из нас на практике хорошо понимает эти соотношения, которые формально описываются законом охлаждения Ньютона. Естественная конвекция наблюдается, когда более теплая жидкость поднимается, а более холодная жидкость опускается, например, как в охлаждающих трубках трансформаторов наполненных маслом. **См. Рис. 4-2.**

При вынужденной конвекции, например вызванной с помощью насоса или вентилятора, естественные соотношения обычно

Теплоизолирующие материалы

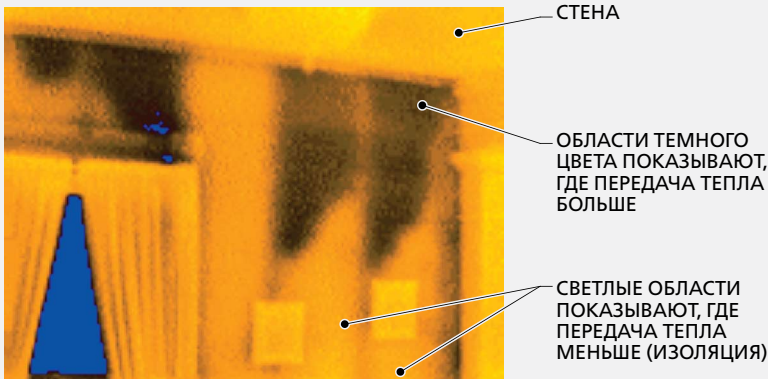
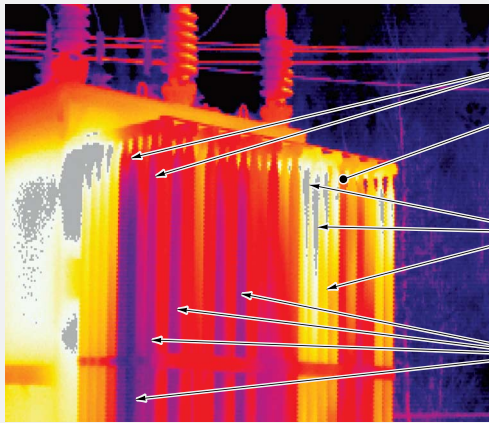


Рис. 4-1. Теплоизоляционные материалы устанавливаются в стенах для управления передачей тепла. Плохо установленная теплоизоляция не обеспечивает необходимый контроль передачи тепла.

Естественная конвекция



- ОХЛАЖДАЮЩИЕ ТРУБКИ
- МАСЛОНАПОЛНЕННЫЙ ТРАНСФОРМАТОР (ОХЛАЖДАЕМЫЙ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИЕЙ, ПОСКОЛЬКУ ТЕПЛОЕ МАСЛО ЦИРКУЛИРУЕТ ПО ОХЛАЖДАЮЩИМ ТРУБКАМ)
- ПРИ НОРМАЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ТЕПЛОЕ МАСЛО (СВЕТЛЕЕ) НАХОДИТСЯ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ, А БОЛЕЕ ХОЛОДНОЕ МАСЛО (ТЕМНЕЕ) НАХОДИТСЯ В НИЖНЕЙ ЧАСТИ ТРУБОК.
- ТЕМНЫЕ ТРУБКИ ПОКАЗЫВАЮТ, ГДЕ ОТСУТСТВУЕТ ИЛИ ПРОИСХОДИТ НЕДОСТАТОЧНАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ МАСЛА

Рис. 4-2. Естественная конвекция наблюдается, когда теплое масло поднимается вверх, а холодное опускается вниз, как происходит в охлаждающих трубках маслонаполненного трансформатора.

не соблюдаются, поскольку вынужденная конвекция может быть достаточно мощной. Когда дует ветер, мы ощущаем прохладу, что происходит вследствие того, что мы теряем тепло быстрее, чем когда ветра нет. Ветер так же сильно влияет на температуру объектов, которые обследуются с помощью тепловизионных систем.

Излучение

Излучение – это передача энергии, в том числе и тепловой, которая происходит со скоростью света между объектами посредством электромагнитного излучения. Поскольку нет необходимости в промежуточной среде, излучение может наблюдаться даже в вакууме. Пример электромагнитной энергии – это ощущение солнечного тепла в прохладный день.

Электромагнитная энергия – это излучение в виде волн с электрическими и магнитными свойствами. Электромагнитная энергия может принимать несколько форм, включая

свет, радиоволны и инфракрасное излучение. Основное отличие между всеми этими формами – это их длина волны. В то время как глаз воспринимает только длины волн, известные как видимый свет, тепловизоры улавливают длины волн, которые называются тепловым излучением (или инфракрасным излучением). Каждая длина волны находится в своей части электромагнитного спектра.

Уравнение Стефана-Больцмана описывает соотношение, как тепло распространяется в виде излучения. Все объекты испускают излучение. Как и в случае теплопроводности и конвекции, общее количество испускаемой энергии зависит от площади и разности температур. Чем теплее объект, тем больше энергии он испускает. Например, когда горелка воздухонагревателя становится горячее, он испускает больше энергии, чем когда он холодный.

Тепловое излучение – это передача тепла посредством электромагнитных волн. Основное отличие между различными волнами их длина.

Хотя электромагнитное излучение (свет) является видимым для глаза, испускаемое тепло является видимым только для тепловизионных систем. Электромагнитный спектр — это диапазон всех видов электромагнитного излучения в зависимости от длины волны. См. Рис. 4-3.



Рис. 4-3. Спектр электромагнитного излучения — это диапазон всех видов электромагнитного излучения, в зависимости от длины волны.

Понятие энергосбережения

Свет и инфракрасное излучение ведут себя похожим образом при взаимодействии с различными материалами. Инфракрасное излучение отражается некоторыми видами поверхностей, такими как металлическая прокладка под воздушнонагревателем. Отражение теплых и холодных объектов можно увидеть с помощью тепловизоров на таких поверхностях, как чистые металлы, которые называются «теплыми зеркалами». В некоторых случаях, инфракрасное излучение проходит через поверхность, как, например, через объектив тепловизионной системы. Инфракрасное излучение так же может поглощаться поверхностью, например, рукой расположенной возле горячего воздушнонагревателя. В таком случае происходит изменение температуры, которое заставляет поверхность испускать больше энергии.

Пропускание — это прохождение лучистой энергии через вещество. Инфракрасное излучение так же может поглощаться поверхностью, вызывая изменение температуры и испускание большего количества энергии поверхностью объекта. Поглощение это перехват лучистой энергии. Испускание это выпуск лучистой энергии. Хотя тепловизионные системы могут улавливать отраженное, прошедшее, поглощенное и испущенное излучение, только поглощенная или испускаемая энергия влияют на температуру поверхности. См. Рис. 4-4.

Кроме того, количество тепловой энергии излучаемой поверхностью, определяется тем, насколько эффективно поверхность испускает

ПОДСКАЗКА

Шероховатость поверхности определяет тип и направление отражения излучения. Гладкая поверхность называется зеркальным отражателем, а шероховатая поверхность называется диффузным отражателем.

Отражение, пропускание, поглощение и излучение

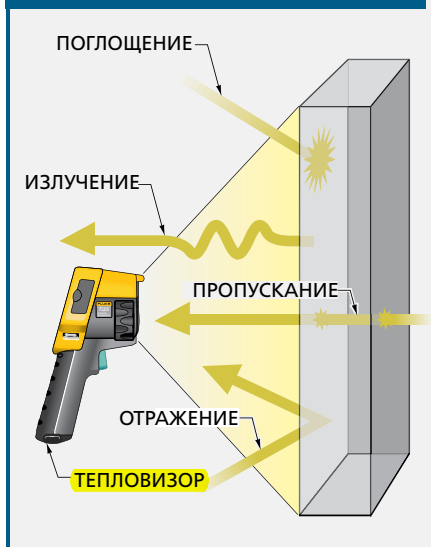


Рис. 4-4. Излучение может отражаться, проходить, поглощаться или испускаться.

излучение. Большинство неметаллических материалов, таких как окрашенные поверхности или человеческая кожа, эффективно испускают излучение. Это означает, что с повышением температуры они испускают значительно больше энергии, как, например, горелка воздушонагревателя.

Другие вещества, большинство неокрашенных и не сильно окисленных металлов, испускают тепловое излучение менее эффективно. При нагревании чистой металлической поверхности, количество тепловой энергии, испускаемой в виде излучения, возрастает незначительно, и трудно увидеть разницу между холодной и теплой металлической поверхностью, как с помощью глаз, так и с помощью тепловизионной системы. Чистые металлы обычно имеют низкий коэффициент излучения (низкая эффективность излучения). Коэффициент излучения имеет значения от 0,0 до 1,0. Поверхность со значением коэффициента излучения 0,10, например, блестящая

медная поверхность, испускает небольшой поток теплового излучения по сравнению с человеческой кожей, которая имеет коэффициент излучения равный 0,98.

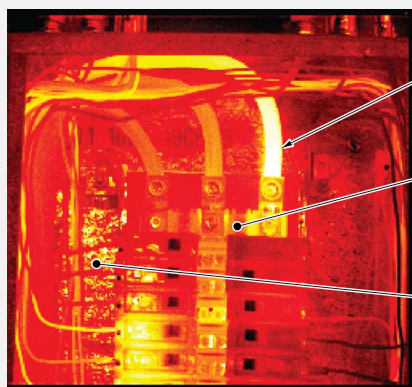
Одна из трудностей использования тепловизоров состоит в том, что эти приборы отображают энергию, обычно невидимую человеческим глазом. Поверхности с низким коэффициентом излучения, такие, как металлы, не только плохо испускают излучение, они так же отражают излучение окружающих объектов. Если навести тепловизор на поверхность, то на изображении он покажет результат, состоящий из суммы испущенного и отраженного инфракрасного излучения. Чтобы понять, что же отображается на приборе, термографист должен разобраться, какая часть энергии составляет собственное излучение, а какая часть – отраженное.

На коэффициент излучения материала могут повлиять так же другие факторы. Кроме типа материала, коэффициент излучения может изменяться в зависимости от состояния поверхности, температуры и длины волн. Значение коэффициента излучения объекта так же может изменяться в зависимости от угла, под которым виден объект. **См. Рис. 4-5.**

Не составляет труда узнать коэффициент излучения большинства материалов, которые не являются полированными металлами. Значения коэффициентов излучения многих веществ уже были измерены и их можно найти в соответствующих таблицах. Значения коэффициентов излучения следует использовать только для справки. Поскольку точное значение коэффициента излучения материала может отличаться от табличных значений, опытные термографисты так же должны понимать, как измерить действительное значение. **См. Рис. 4-6.**

Полости, впадины и отверстия испускают большее количество тепловой энергии, чем окружающие их поверхности. То же характерно и для видимого света. Зрачок человеческого глаза является черным, поскольку он является полостью, и когда свет попадает туда, он поглощается. Если свет поглощается

Коэффициент излучения



ПРОВОДНИК С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИМЕЕТ ВЫСОКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ ИЗЛУЧЕНИЯ (ИСПУСКАЕМОЕ ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ)

КОЭФФИЦИЕНТ ИЗЛУЧЕНИЯ ЗАВИСИТ ОТ ТИПА МАТЕРИАЛА, СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ, ТЕМПЕРАТУРЫ И ДЛИНЫ ВОЛНЫ

ЗАДНЯЯ СТЕНКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ШКАФА ИМЕЕТ НИЗКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ ИЗЛУЧЕНИЯ (ОТРАЖЕННОЕ ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ)

Рис. 4-5. Коэффициент излучения зависит от типа материала, состояния поверхности, температуры и длины волны.

Значения коэффициента излучения распространенных материалов

Материал	Коэффициент излучения*
Алюминий, полированный	0.05
Кирпич, обычный	0.85
Кирпич, огнеупорный, шероховатый	0.94
Литой чугун, необработанная отливка	0.81
Цемент	0.54
Медь, полированная	0.01
Медь, окисленная до черноты	0.88
Изолента, черная, пластиковая	0.95
Стекло	0.92
Лак, бакелит	0.93
Краска, масляная	0.94
Бумага, черная, матовая	0.94
Фарфор, с глазурью	0.92
Резина	0.93
Сталь, оцинкованная	0.28
Сталь, сильно окисленная	0.88
Рубероид	0.92
Water	0.98

*Коэффициент излучения практически всех материалов измеряется при 0 °С, но при комнатной температуре его значение отличается незначительно.

Рис. 4-6. Значения коэффициента излучения многих распространенных материалов можно найти в справочных таблицах.

поверхностью, мы говорим, что она «черная». Коэффициент излучения полости будет приближаться к величине 0,98, если она в глубину в семь раз больше, чем в ширину.

Температура поверхности

Обычно, поскольку можно увидеть только распределение температур на поверхностях объектов (поскольку они непрозрачные), термографисты должны интерпретировать и проанализировать это распределение температур, чтобы связать их с внутренними температурами объектов и конструкций. Например, на наружной стене дома будет проявляться рисунок из различных температур, и задача термографиста в том, чтобы связать их с конструкцией и тепловыми характеристиками дома. Для того, чтобы сделать это наилучшим образом, необходимо иметь представление о том, как тепло распространяется через различные конструкции и материалы в стене.

В холодную погоду тепло изнутри дома проходит через конструкцию стены на поверхность, а поверхность приходит в тепловое равновесие с окружением. Именно в этот

момент термографист обследует поверхность с помощью тепловизора и должен интерпретировать то, что получилось. Эти соотношения часто могут быть достаточно сложными, однако во многих случаях в них можно разобратся, исходя из здравого смысла, используя научные основы.

Кэффициент излучения

Температуры неокрашенных и неокисленных металлов трудно определить на тепловом изображении, поскольку они слабо испускают и сильно отражают излучение. Независимо от того, мы просто смотрим на тепловое изображение, или производим радиометрическое измерение температуры, необходимо принимать во внимание данные факторы. Во многих тепловизорах можно произвести коррекцию как коэффициента излучения, так и температуры фона. Для многих материалов существуют таблицы значений коэффициентов излучения.

Хотя таблицы значений коэффициентов излучения могут быть полезными для того, чтобы понять, как будет вести себя материал, в действительности при попытке учесть коэффициент излучения большинства поверхностей с низким коэффициентом излучения, ошибки могут быть недопустимо большими. Поверхности с низким коэффициентом излучения необходимо каким-то образом изменить, например, с помощью изолянты или краски, чтобы повысить их коэффициент излучения. Это делает как интерпретацию, так и измерения точными и подходящими для практических задач.

ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Точность современных инфракрасных измерительных приборов достаточно высока. При осмотре поверхностей с высоким коэффициентом излучения, имеющих средние температуры, в пределах разрешающей способности системы, погрешность измерения

обычно составляет $\pm 2^{\circ}\text{C}$ (3.6°F) или 2% от измеренного значения (но может изменяться в зависимости от модели тепловизора). Так же, поскольку инфракрасные измерительные приборы не требуют контакта с измеряемым объектом, инфракрасная технология имеет значительную ценность благодаря повышению точности измерений.

Поскольку измерение температуры основано на регистрации инфракрасного излучения, погрешность измерения температуры может увеличиться под воздействием следующих факторов:

- Значение коэффициента излучения ниже 0,6
- Изменения температуры порядка $\pm 30^{\circ}\text{C}$ (54°F)
- Проведение измерений за пределами разрешающей способности системы (объект слишком маленький или находится слишком далеко)
- Поле зрения.

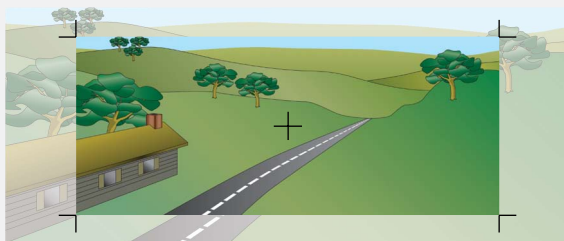
Поле зрения

Поле зрения – это характеристика, которая определяет размер теплового изображения. Самое большое влияние на величину поля зрения имеет объектив, независимо от размера матричного приемника излучения. Большие матричные приемники излучения, обеспечивают большую детализацию, независимо от используемого объектива, по сравнению с маленькими приемниками. Для некоторых задач, таких, как работа на больших подстанциях на улице или внутри здания, полезным является большое поле зрения. В то же время, хотя небольшие приемники излучения могут обеспечить достаточное количество деталей для здания, для работы на подстанции может быть важным большее количество деталей. См. Рис. 4-7.

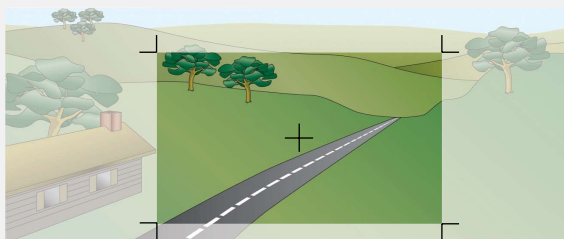
Мгновенное поле зрения

Мгновенное поле зрения – это характеристика, которую используют для описания способности тепловизора разрешать пространственные элементы (пространственное разрешение). Значение мгновенного поля зрения обычно вы-

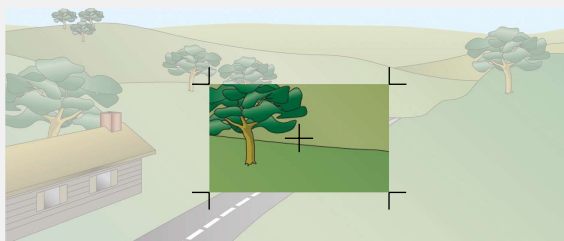
Поле зрения



ШИРОКОЕ ПОЛЕ ЗРЕНИЯ – ШИРОКОУГОЛЬНЫЙ ОБЪЕКТИВ



СТАНДАРТНОЕ ПОЛЕ ЗРЕНИЯ – СТАНДАРТНЫЙ ОБЪЕКТИВ



УЗКОЕ ПОЛЕ ЗРЕНИЯ – ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТИВ

Рис. 4-7. Поле зрения – это характеристика, которая определяет площадь, видимую на тепловом изображении с использованием конкретного объектива.

ражается в виде угла в миллирадианах (мрад). Если спроектировать изображение приемника излучения через объектив, мгновенное поле зрения даст размер объекта, который можно увидеть на данном расстоянии.

Мгновенное поле зрения для измерения является разрешающей способностью тепловизора для измерения, оно описывает наименьший размер объекта, который можно измерить с данного расстояния. См. Рис. 4-8. Оно выражается в угловых размерах (в мрад), и обычно в три раза больше мгновенного поля зрения. Это связано с тем, что для измерения

тепловизору требуется больше информации об излучении от объекта, чем для того, чтобы зарегистрировать его. Важно понимать и

ПОДСКАЗКА

Все объекты, обследуемые с помощью тепловизора, испускают энергию в инфракрасной области спектра. По мере того, как объект нагревается, он испускает больше энергии. Очень горячие объекты испускают достаточно энергии, чтобы ее можно было увидеть человеческим глазом.

работать в пределах пространственного разрешения и пространственного разрешения для измерения для каждой системы. Пренебрежение этим может привести к тому, что можно получить неточные данные или что-то пропустить.

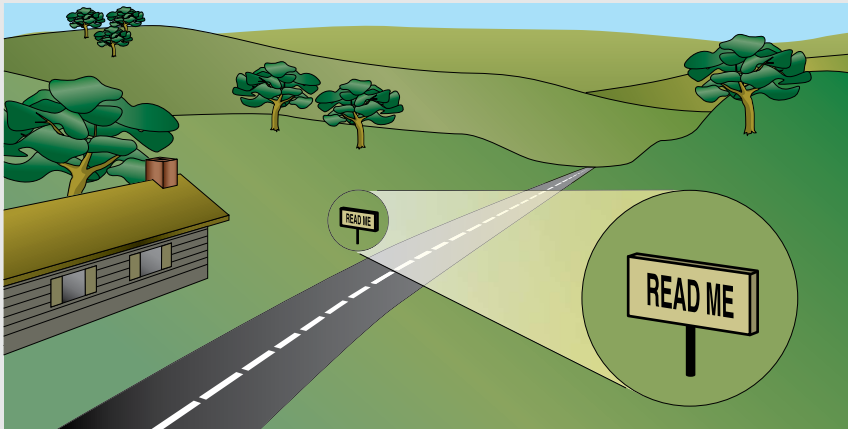
Влияние окружающей среды

Ценность измерения температуры поверхности, даже выполненного с достаточной точностью, может значительно снизиться, если градиент температур между измеряемой поверхностью и внутренним источником тепла, является большим, например, как для внутренних неисправных контактных соединений в заполненном маслом электрооборудовании. Термографист просто не увидит на поверхности значительных перепадов температур при изменениях на внутренних контактных соеди-

нениях. На удивление, даже такие объекты, как болтовые контактные электрические соединения, часто имеют значительные градиенты температур, даже на небольших расстояниях. Поэтому при анализе тепловых изображений всегда необходимо тщательно выяснять, какими могут быть условия внутри.

Похожее снижение ценности может происходить, когда внешнее влияние на поверхностные температуры значительно или неизвестно. Например, это может наблюдаться при обследовании кровли с небольшим уклоном в здании для поиска проникновения влаги, при сильном ветре. Следы наличия влаги можно и не заметить. А характерные проявления часто исчезают. Влажные поверхности так же могут дать неожиданные результаты при испарении или замерзании.

Пространственная разрешающая способность и разрешающая способность для измерения



МГНОВЕННОЕ ПОЛЕ ЗРЕНИЯ
(ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗРЕШЕНИЕ)

МГНОВЕННОЕ ПОЛЕ ЗРЕНИЯ ДЛЯ
ИЗМЕРЕНИЯ (РАЗРЕШАЮЩАЯ
СПОСОБНОСТЬ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ)

Рис. 4-8. Мгновенное поле зрения для измерения – это разрешающая способность тепловизора для измерения, которая указывает минимальный размер объекта, температуру которого можно измерить с данного расстояния. Мгновенное поле зрения можно сравнить с возможностью увидеть знак на данном расстоянии, а мгновенное поле зрения для измерения можно сравнить с возможностью прочесть надписи на знаке, когда он ближе или больше.



ЦВЕТНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ

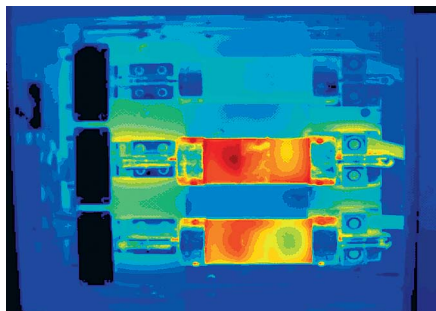


Рис. 5-1. «Горячее пятно» на тепловом изображении не всегда указывает на основную проблему. Может быть вышедшим из строя верхний предохранитель, а так же могут быть проблемы с центральным предохранителем.

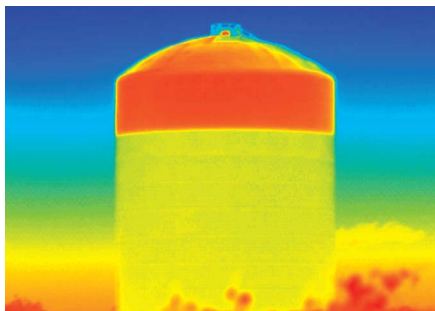


Рис. 5-2. При определенных условиях, уровень жидкости в емкости легко обнаружить.

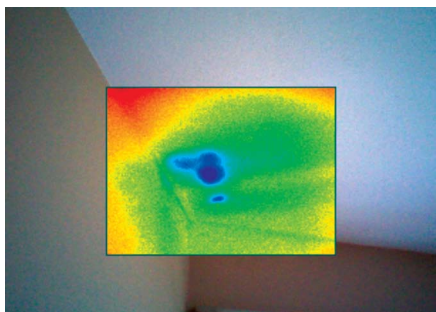


Рис. 5-3. Голубое (или темное) пятно на тепловом изображении показывает область с наличием влаги на потолке.

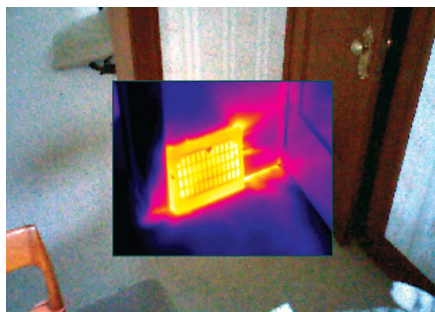


Рис. 5-4. Более светлые расплывчатые следы на тепловом изображении «картинки в картинке» выпускной заслонки указывают на воздушные течи в месте выхода воздушного канала.

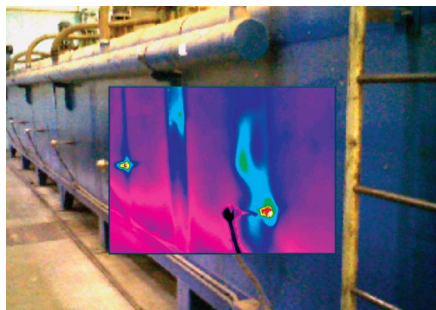


Рис. 5-5. Тепловые следы на печи отжига могут указывать на возможный износ огнеупорной футеровки.

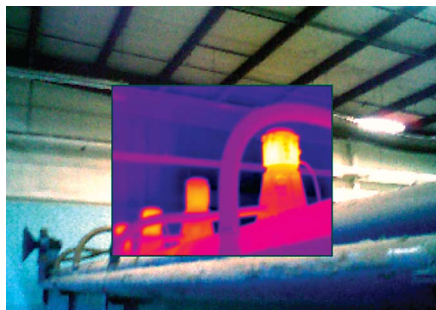


Рис. 5-6. Двигатель вентилятора циркуляции на правой части данной печи отжига может быть неисправен, поскольку его рабочая температура выше, чем у других.

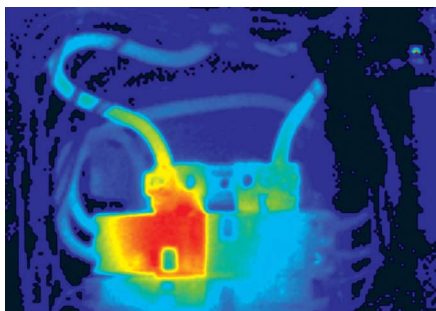


Рис. 5-7. Соединение с высоким сопротивлением или неисправный элемент автоматического разъединителя в жилых зданиях просто увидеть с помощью тепловизора, но не видно на обычном изображении.

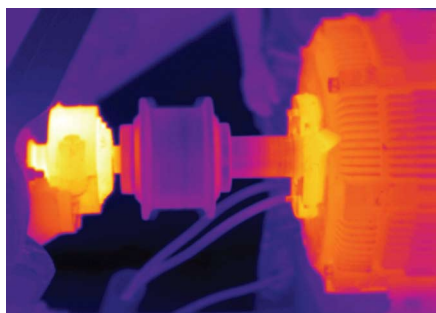
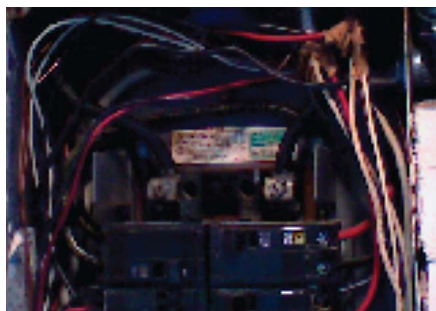


Рис. 5-8. Хотя на тепловом изображении двигателя и сцепления видны тепловые следы с обеих сторон, что может свидетельствовать о проблеме соосности сцепления, на изображении в видимом свете признаков неисправности нет.



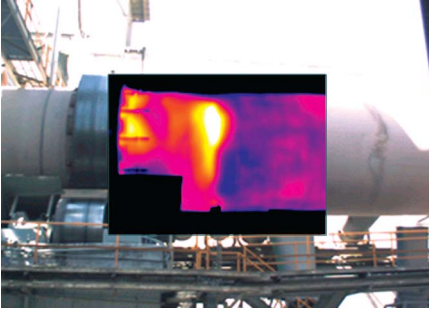


Рис. 5-9. Тепловидение можно использовать для контроля состояния футеровки во времени и выявлять проблемные зоны в цементных печах и другом промышленном оборудовании.

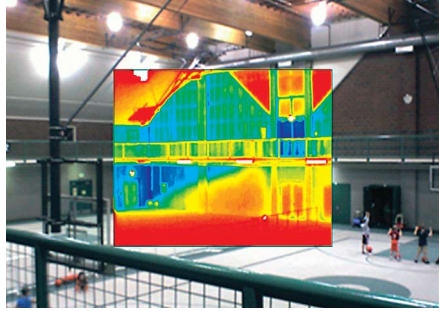


Рис. 5-10. Тепловидение можно использовать для того, чтобы увидеть скрытые строительные и другие элементы, например, земляной уступ снаружи данного гимнастического зала.

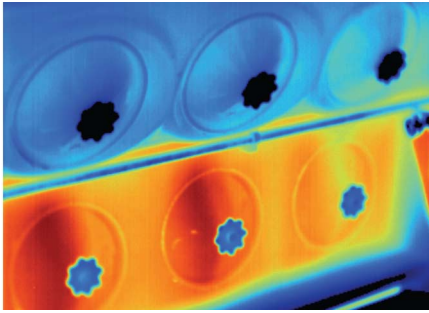


Рис. 5-11. Цилиндр дизельной электростанции, в котором происходит пропуск зажигания имеет более низкую температуру, чем нормально работающие цилиндры.

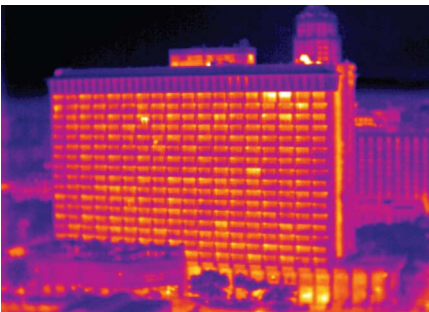
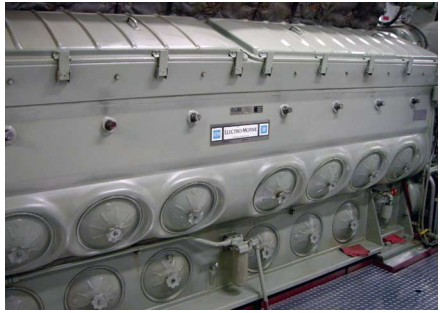


Рис. 5-12. Тепловизоры можно использовать для осмотра больших зданий и цехов для выявления неожиданных изменений температуры, которые могут указывать на возможные проблем.

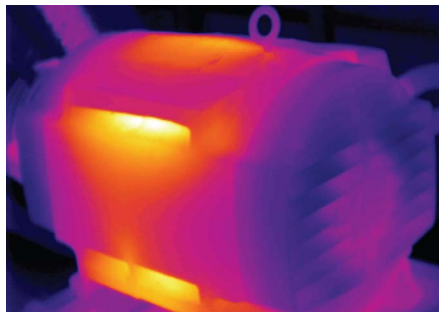


Рис. 5-13. Тепловое изображение нормально работающего двигателя в системе кондиционирования воздуха показывает рассеивание тепла через вентиляционные отверстия.

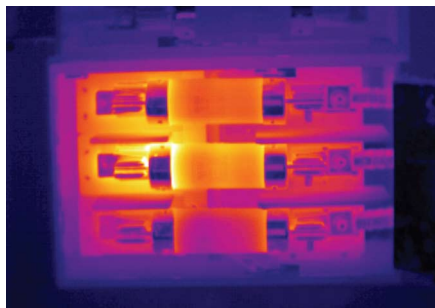


Рис. 5-14. Область светлого цвета на изображении блока предохранителей указывает на возможные проблемы связанные с высоким сопротивлением или на внутренние проблемы на центральной фазе.

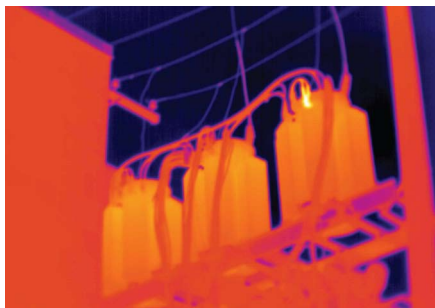


Рис. 5-15. Горячий наконечник и ввод на трансформаторе являются явным признаком проблемы.



Рис. 5-16. Соединение с высоким сопротивлением на перемычке (возможно вследствие коррозии) может иметь значительные последствия при дальнейшем увеличении нагрузки.

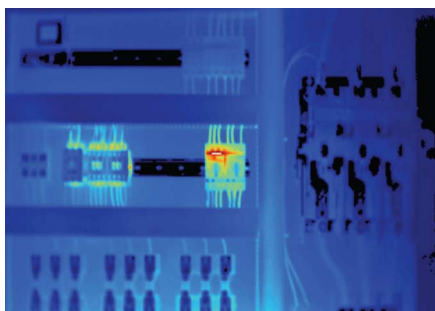


Рис. 5-17. С помощью тепловизора проблему внутренних элементов пульта управления двигателями легко выявить.

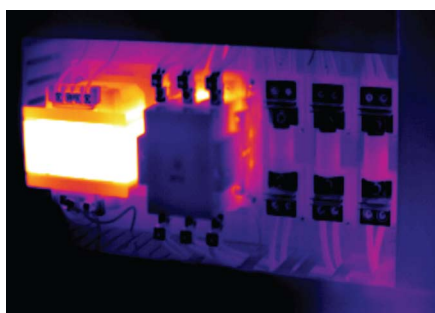


Рис. 5-18. Возможный дисбаланс нагрузки на правом дальнем предохранителе можно не увидеть, если не отрегулировать уровень и диапазон изображения.

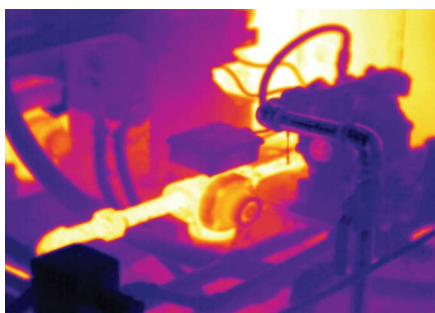


Рис. 5-19. При правильном знании механического оборудования специалист по эксплуатации часто может выполнять различные работы по поиску неисправностей и обслуживанию.

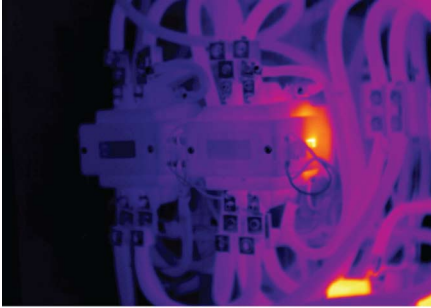


Рис. 5-20. Возможные скрытые проблемы проявляются при сравнении похожих элементов в похожих условиях работы.

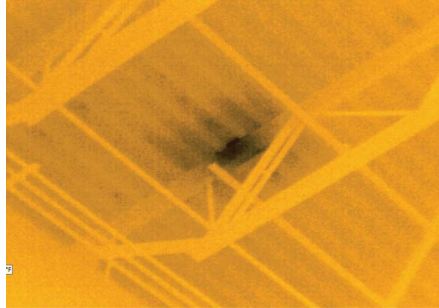


Рис. 5-21. Тепловизоры можно использовать для обнаружения влажной теплоизоляции, связанной с течью в кровле с небольшим уклоном. Если условия подходящие, а металлический настил крыши окрашен, то такие следы можно увидеть изнутри.

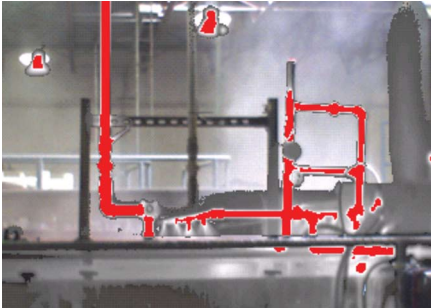


Рис. 5-22. Использование цветов насыщения и цветовой сигнализации серой палитры может быть полезным для определения того, какие вентили горячей воды и пара открыты и работают правильно.

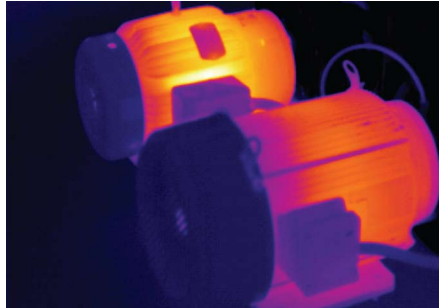


Рис. 5-23. Хотя два различных двигателя и насоса могут иметь различные тепловые рисунки, оба рисунка могут говорить о нормальном рабочем состоянии.

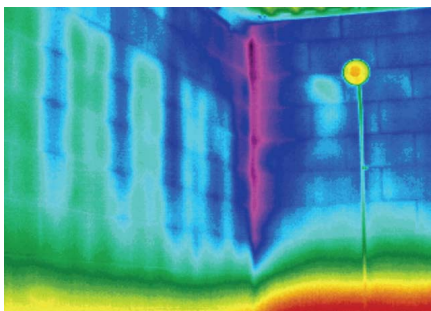


Рис. 5-24. Тепловой рисунок блочной стены показывает проникновение влаги в месте соединения двух стен, а так же неоднородности строительных конструкций.



Рис. 5-25. Области темного цвета показывают, где проходит хладагент через теплообменники оконного кондиционера.

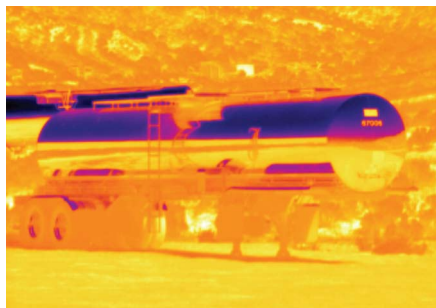


Рис. 5-26. Влияние материалов с низким коэффициентом излучения в тепловидении проявляется на изображении грузовика с емкостью из листового металла. Металл отражает холодное ясное небо и тепло, исходящее от земли в солнечный день.

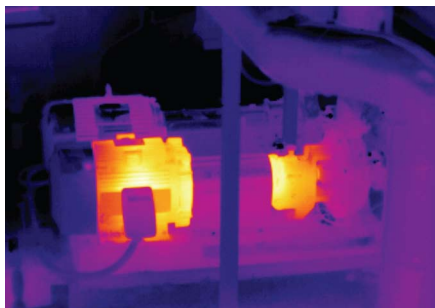


Рис. 5-27. Тепловидение можно использовать для выявления неправильно работающего оборудования. Тепловое изображение двигателя и насосов сзади показывает, что они не работают.

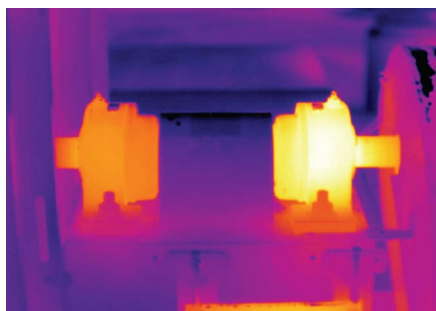


Рис. 5-28. Правая часть крышки подшипника кондиционера значительно теплее других, что говорит о возможной проблеме со смазкой, соосностью или ремнем передачи.

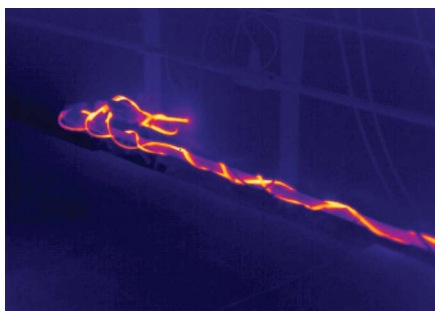


Рис. 5-29. Тепловидение иногда может использоваться для решения таких задач, как поиск неисправностей на нагревательных элементах наружных водопроводов, которые не должны замерзнуть в холодную погоду.

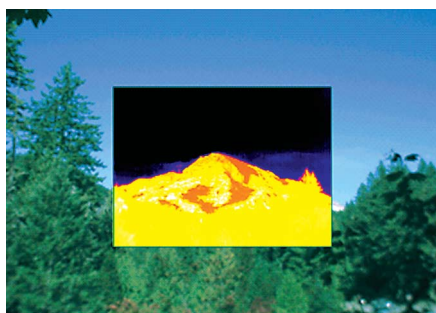


Рис. 5-30. Все предметы на земле испускают инфракрасное излучение, даже холодные ледники на вершинах гор.

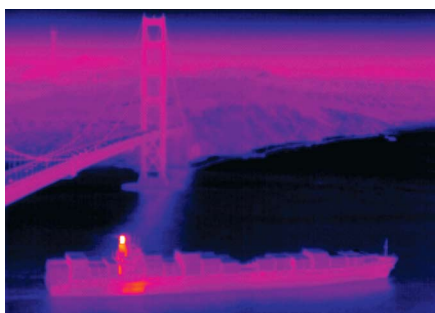


Рис. 5-31. Тепловое изображение контейнерного судна ночью показывает, что выхлопную трубу и машинное отделение можно обнаружить с очень больших расстояний.

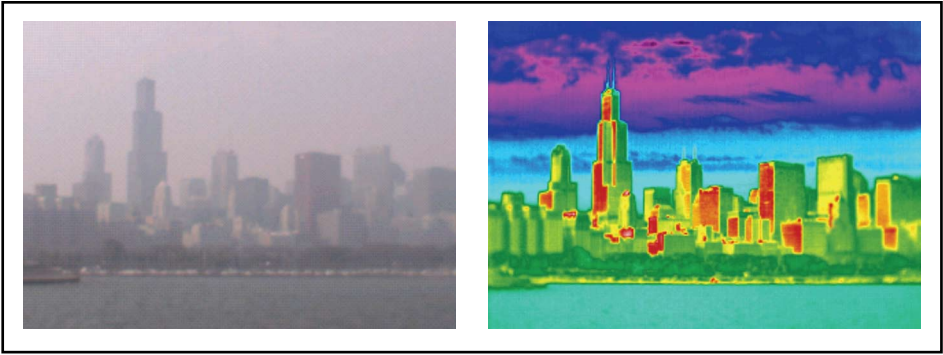


Рис. 5-32. На фотографии в видимом спектре трудно четко увидеть детали городского горизонта или неба в туманный летний день. Однако с помощью тепловидения, детали, а так же различные типы облаков на небе, можно легко различить.

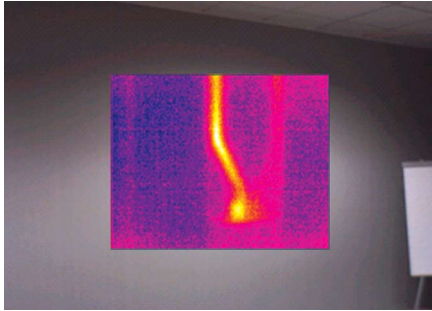


Рис. 5-33. Даже незначительные выявленные на поверхности температуры могут говорить о серьезных проблемах, таких как общая нейтраль или неправильное заземление в системе освещения. Это может вызвать нагрев металлического кабелепровода в стене до состояния, когда может возникнуть опасность возгорания.

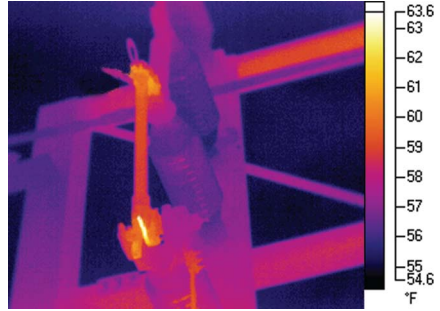


Рис. 5-34. Выявление таких проблем, как горячие губки и нож высоковольтного разъединителя, может быть несложным при условии адекватной нагрузки и небольшом ветре или его отсутствии.

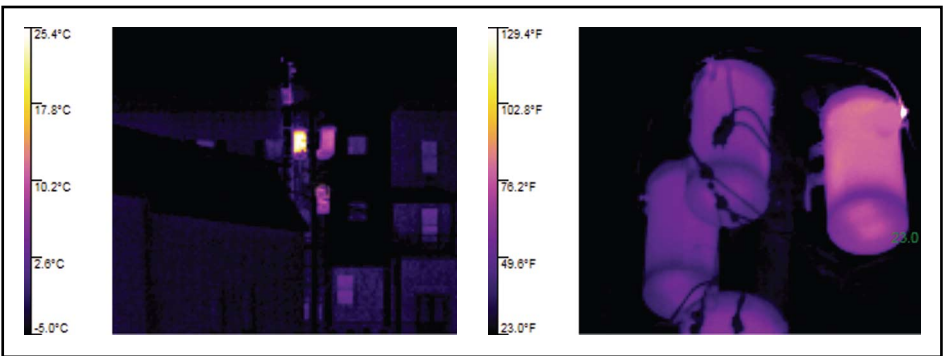


Рис. 5-35. Некоторые проблемы можно обнаружить даже на большом расстоянии (слева) с помощью тепловизора. Более тщательный анализ часто требует использования телескопического объектива или подойти ближе (справа) к оборудованию.

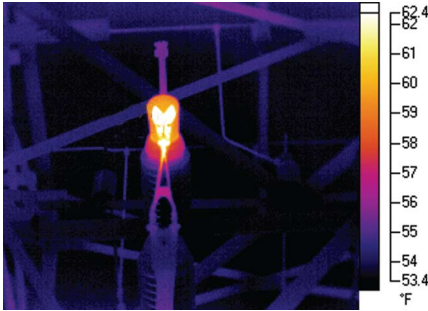


Рис. 5-36. Ненормально высокое сопротивление вызывающее нагрев разъединителя часто представляет серьезную дорогостоящую проблему, поскольку даже сравнительно невысокие температуры могут вызвать повреждение.

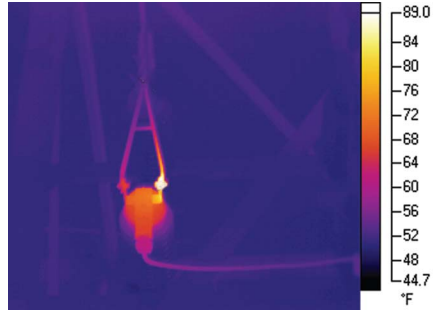


Рис. 5-37. Поскольку параллельные пути для прохождения тока существуют во многих разъединителях, перегрев может показывать нормальное соединение, а местом, где на самом деле существует проблема, может быть холодная часть.

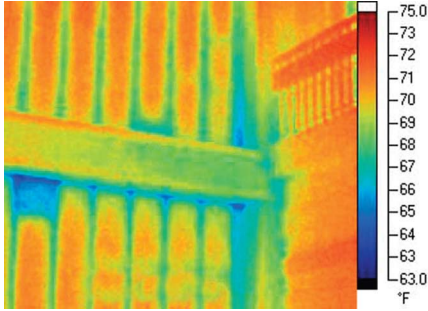


Рис. 5-38. Небольшой участок, где отсутствует теплоизоляция из стекловолокна, в здании может вызвать ненормальную течь воздуха на краях других участков.

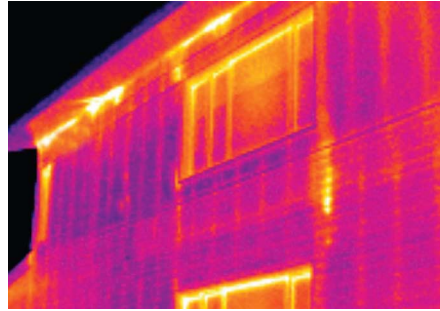


Рис. 5-39. Из-за плохого воздушного уплотнения, теплый воздух может проходить через изоляцию из стекловолокна, как это происходит во многих частях данного коммерческого здания.



Рис. 5-40. Трансформатор, который теплее других на воздушном блоке, может указывать на возможную проблему.

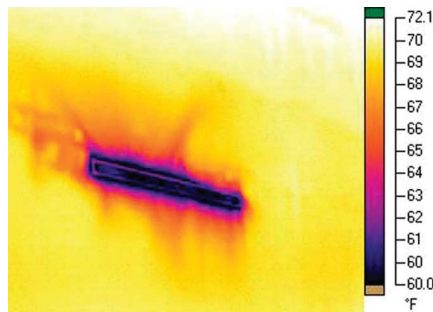


Рис. 5-41. Кондиционированный воздух может проникать через места соединения воздушного канала системы ОВКВ в стену за диффузором.

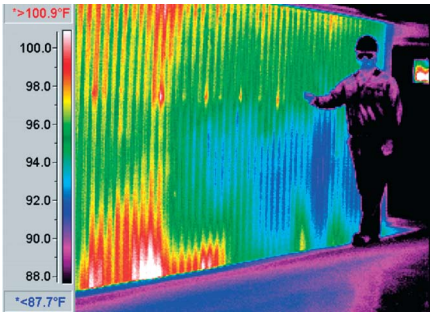


Рис. 5-42. Теплые участки на поверхности котла могут быть вызваны износом огнеупорной футеровки, течью воздуха или обеими причинами.

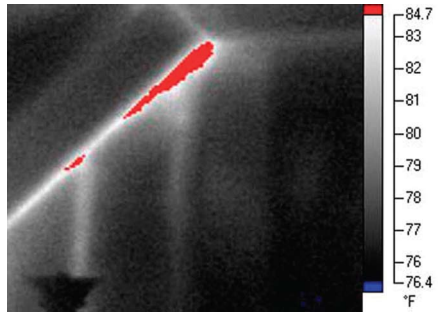


Рис. 5-43. Красный цвет насыщения цветовой палитры четко указывает плохую укладку теплоизоляции из стекловолкна в наклонной кровле.

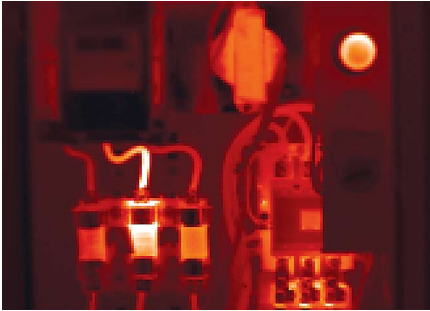


Рис. 5-44. Соединение зажима предохранителя в панели управления двигателями имеет ненормальный нагрев.

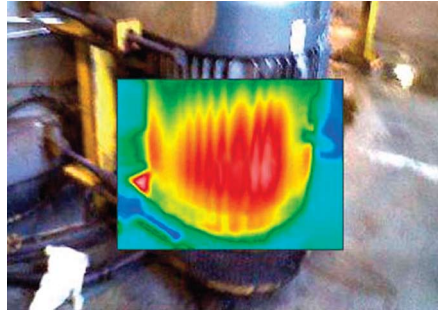


Рис. 5-45. Температуру корпуса двигателя можно быстро проверить для определения, нормально ли он работает.

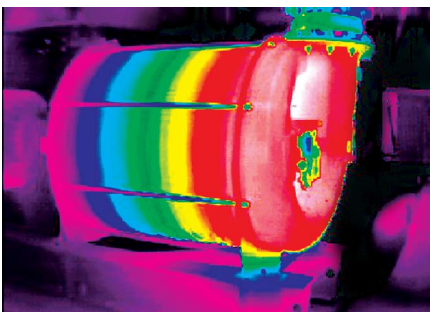


Рис. 5-46. Данный многоступенчатый воздушный компрессор работает правильно, как видно по увеличению температуры на каждой ступени.

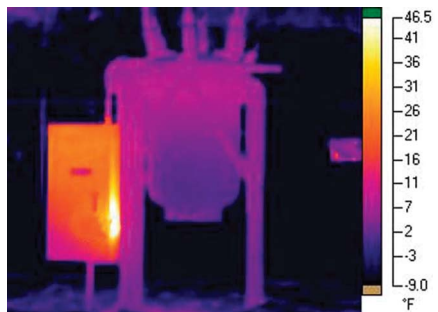


Рис. 5-47. Тепловидение можно использовать для того, чтобы зафиксировать, нормально ли работает нагреватель внутри шкафа управления для предотвращения конденсации.

Г. Макинтош

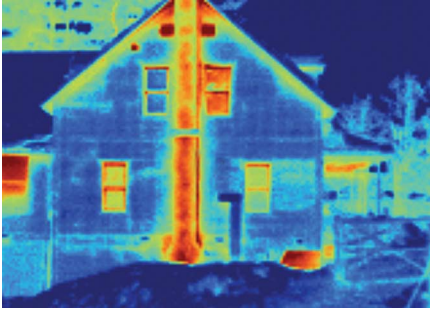


Рис. 5-48. Тепловое изображение наружного вида здания может четко указать на проблемные зоны, такие как светлые участки, где отсутствует теплоизоляция.



Рис. 5-49. Области с отсутствующей теплоизоляцией проявляются в виде теплых участков на внешних стенах здания в холодную погоду.

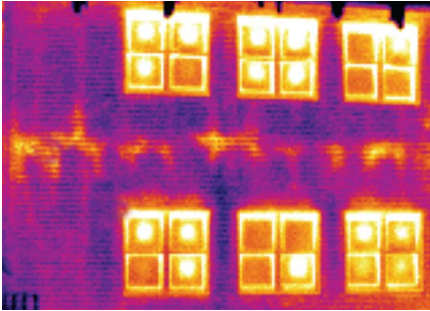


Рис. 5-50. Теплые участки в центре окон с двойным покрытием указывают на потерю теплоизолирующего аргона, который должен заполнять пространство внутри стеклопакетов.

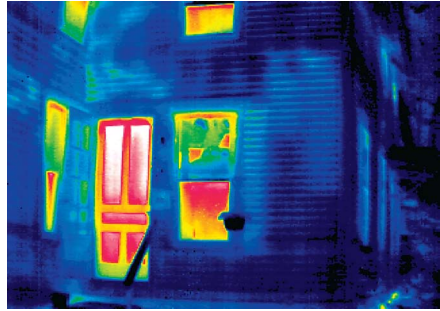


Рис. 5-51. Тепловидение можно использовать для регистрации таких проблем, как отсутствие или повреждение теплоизоляции.



Рис. 5-52. Ненормальный нагрев подшипника конвейерной ленты может привести к чрезмерному расходу энергии и со временем к растяжению цепи.



Рис. 5-53. Область с влажной теплоизоляцией крыши проявляется в виде теплого участка на крыше ранним вечером, когда условия самые подходящие для тепловизионной съемки.

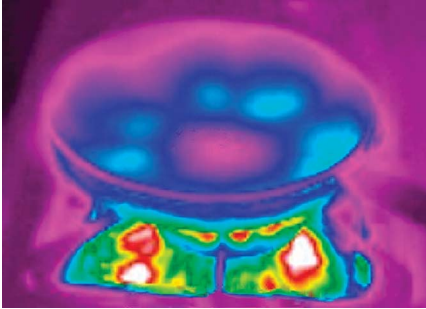


Рис. 5-54. Чугунная сковорода дает интересный тепловой след при нагреве.

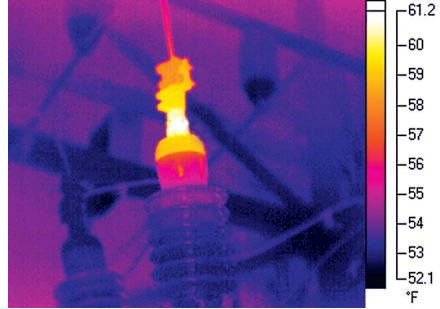


Рис. 5-55. Область в светлых цветах на маслonaполненном разъединителе говорит о том, что внутреннее соединение крышки ввода со стержнем является ненормально горячим.

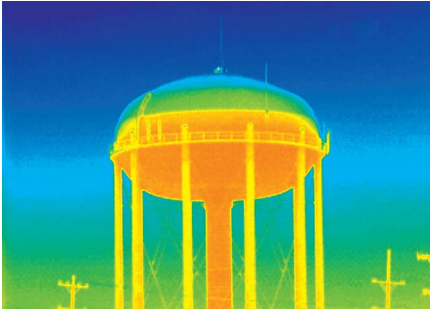


Рис. 5-56. Светлые области показывают уровень воды в муниципальной водонапорной башне.

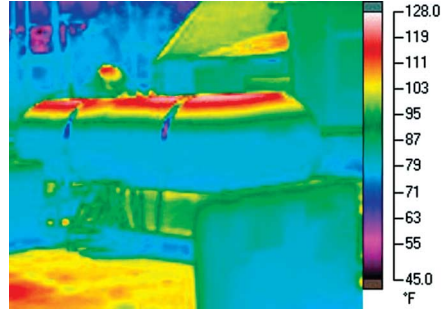


Рис. 5-57. При использовании тепловизора, уровень сжиженного пропана в емкости можно легко увидеть.

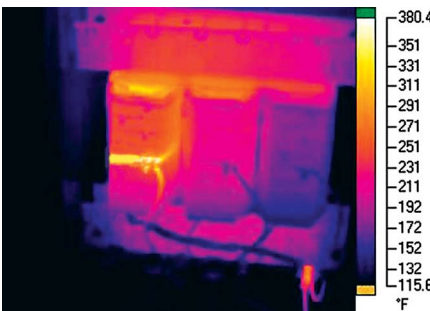


Рис. 5-58. Тепловое изображение трехфазного сухого трансформатора показывает, что основной вывод на левой фазе имеет ненормальный нагрев.

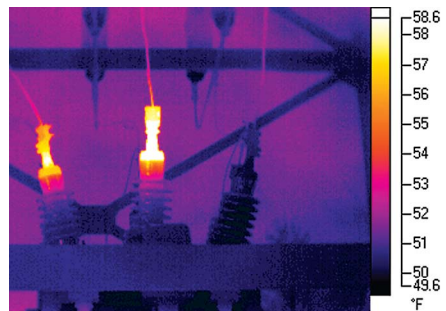


Рис. 5-59. Два из шести вводов маслonaполненного разъединителя имеют ненормальный нагрев и говорят о состоянии, которое может привести к серьезным финансовым последствиям, если бы его не выявили и не отремонтировали.

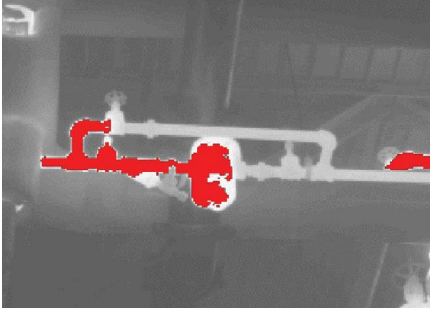


Рис. 5-60. Правильно работающий конденсационный горшок должен быть теплее со стороны пара и холоднее со стороны конденсата, как на данном изображении.



Рис. 5-61. При оптимальных условиях уровень жидкости в емкости для хранения легко увидеть.

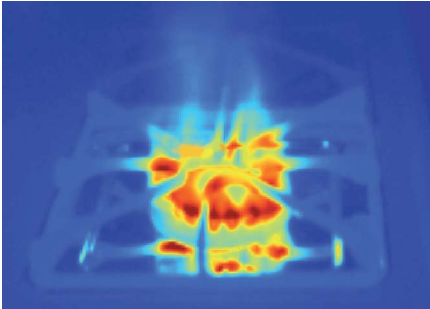


Рис. 5-62. Хотя газовая горелка и выглядит горячей, пламя практически незаметно на длинноволновом тепловом изображении.

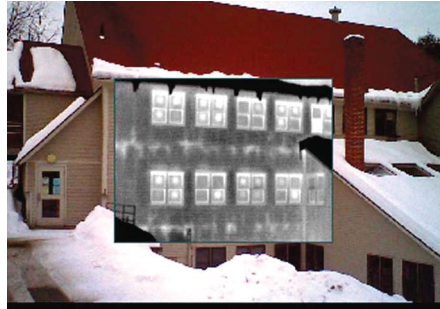


Рис. 5-63. Многочисленные теплые области на наружной фасадной стене коммерческого здания связаны с неправильной установкой теплоизоляции из стекловолокна.

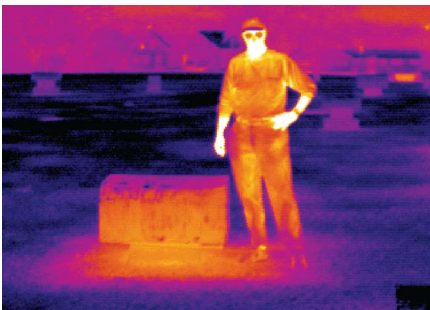


Рис. 5-64. Кроме влажной теплоизоляции, теплый след на крыше могут давать многие объекты, такие, как козырьки вентиляционных каналов системы ОВКВ.

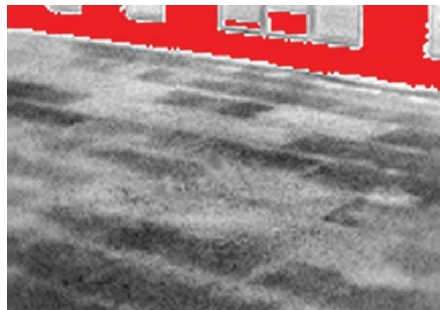


Рис. 5-65. Тепловые следы на однослойных кровлях с изоляцией из пеноматериала могут проявляться четче, чем на многослойных кровлях

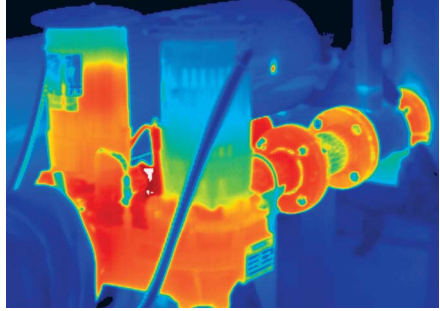
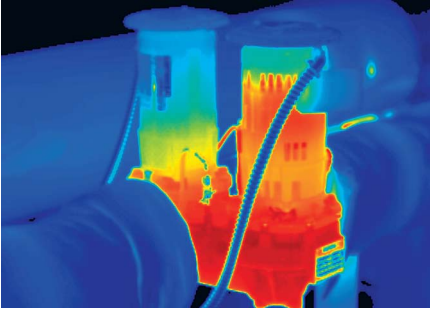


Рис. 5-66. Тепловые изображения можно использовать для определения работы каждой ступени двухступенчатого насоса.



Рис. 5-67. Трение ленты подвешенного конвейера создает перегрев на тепловом изображении. Лента перекашивается из-за изношенного подшипника в ролике. В результате повышенное трение приводит к перегреву приводного двигателя.

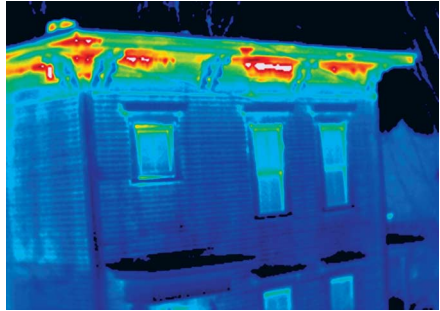


Рис. 5-68. Чрезмерные потери тепла могут быть вызваны теплым воздухом, проходящим через теплоизоляцию, что может привести к значительным и дорогостоящим проблемам во многих зданиях, даже если они имеют



Рис. 5-69. Плохо установленная незафиксированная теплоизоляция в существующей полости стены может слежаться и стать неэффективной.



Рис. 5-70. Нос человека часто холоднее других частей тела из-за меньшего протока крови и большего конвективного охлаждения.

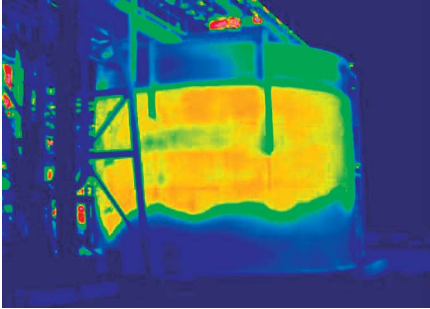


Рис. 5-71. Уровень жидкости и осадка в емкости можно часто обнаружить в момент, когда емкость находится в переходном тепловом состоянии.

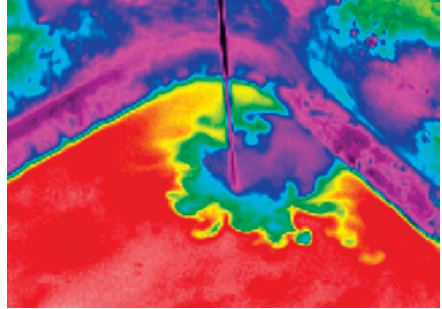


Рис. 5-72. Струя холодной воды в ванной, наполненной теплой водой, приводит к конвективной передаче тепла.

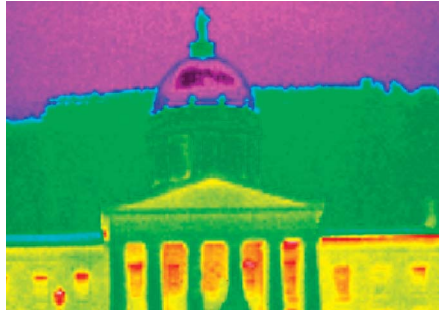


Рис. 5-73. Позолоченный купол правительственного здания отражает холодное небо.

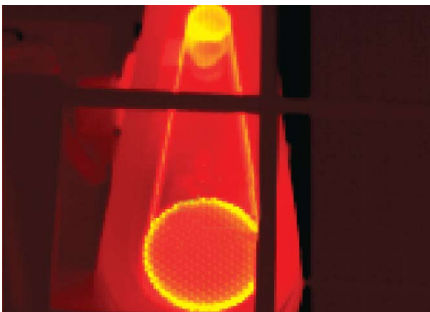


Рис. 5-74. Светлые области на тепловом изображении ремня и шкивов указывают на возможные проблемы соосности.

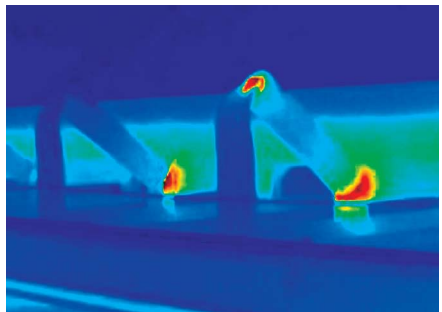


Рис. 5-75. Области красного цвета на изображении показывают несколько подшипников конвейера, которые имеют ненормальный нагрев.

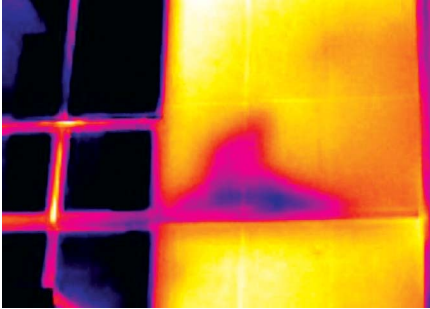


Рис. 5-76. Влага может проникать в каменную облицовку коммерческих зданий и приводить к повреждениям.

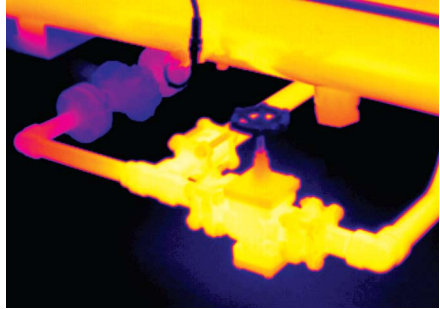


Рис. 5-77. Данное тепловое изображение показывает нормально работающий открытый гидравлический клапан.

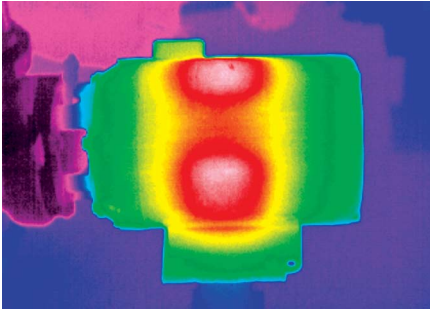


Рис. 5-78. Тепловой рисунок на нормально работающем двигателе насоса должен иметь равномерное распределение температуры.

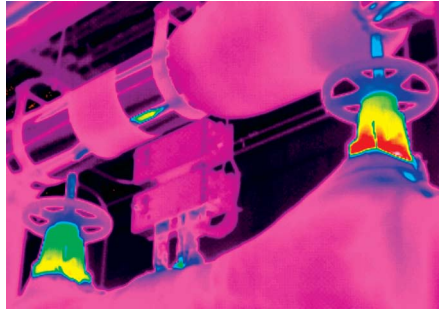


Рис. 5-79. Области светлых цветов указывают, где тепло теряется на неизолированных частях паропровода возле задвижек.

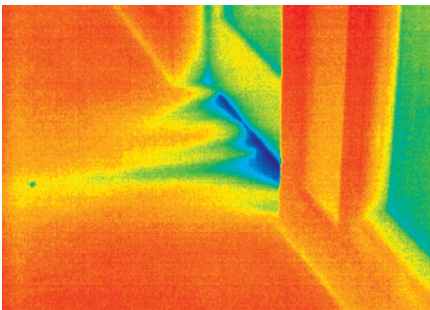


Рис. 5-80. Холодный воздух просачивается под входной дверью и оставляет размытый неоднородный след на полу в прихожей.

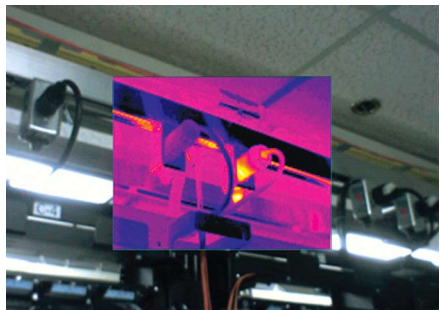


Рис. 5-81. Правая розетка серверной стойки имеет тепловой рисунок, который указывает либо на соединение с высоким сопротивлением, либо на проблемы с проводкой.

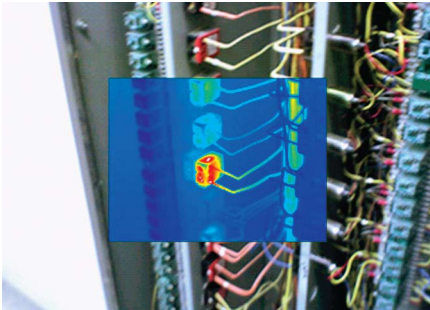


Рис. 5-82. Область ярких цветов указывает на возможное соединение с высоким сопротивлением или отказ компонентов в шкафу управления освещением.

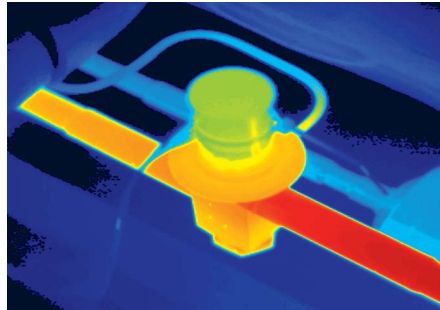


Рис. 5-83. Изменение цвета от одной стороны к другой по линии встроенного конденсатора и байпасного клапана указывают на правильную работу.



Рис. 5-84. Данное тепловое изображение говорит о том, что в трансформаторе справа может быть неисправность.

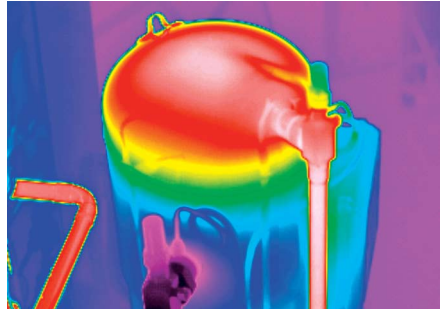


Рис. 5-85. Тепловое изображение нормально работающего компрессора системы ОВКВ может иметь значительные различия температур между различными секциями и компонентами.

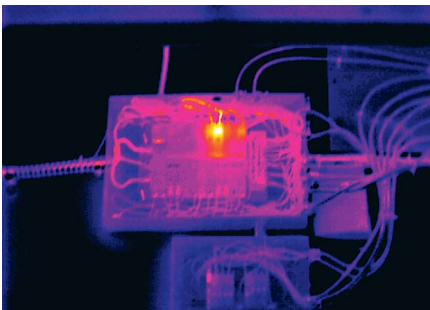


Рис. 5-86. Тепловое изображение может быть полезным для поиска контактных соединений с высоким сопротивлением в системах управления низкого напряжения.

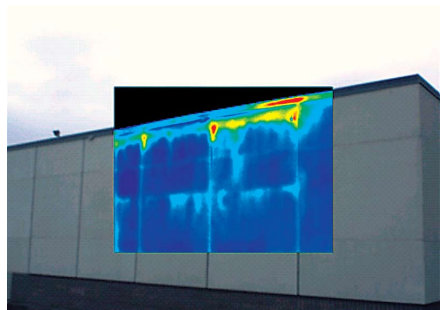


Рис. 5-87. Вода с крыши, не имеющей надлежащего отведения воды, может попасть в бетонные блоки фасада здания.



ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОГРАФИИ

Тепловидение и термографию можно использовать для решения таких задач, как обследование электрического и технологического оборудования, а так же для диагностики зданий. К электрооборудованию относятся двигатели, распределительные устройства и подстанции. К технологическому оборудованию относится автоматизированное производственное и сборочное оборудование. Диагностика зданий включает в себя поиск влаги в кровлях, проверку теплоизоляции зданий. Теплоизоляционные материалы могут устанавливаться в стенах, потолках и полах ограждающих конструкций здания.

ОБСЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Тепловизоры чаще всего используются для проверки состояния электрических систем, поскольку они позволяют проводить обследование быстро и без непосредственного контакта. Большая часть работы по тепловизионному обследованию электрооборудования имеет качественный характер, то есть, производится простое сравнение тепловых изображений похожих компонентов. Тепловое изображение – это отдельный снимок теплового потока, который испускается объектом. Для трехфазных электрических систем это просто, поскольку в обычных условиях тепловое изображение фаз почти всегда просто понять.

Тепловидение является очень эффективным, поскольку отказы оборудования часто имеют характерные распознаваемые тепловые сигнатуры. Более того, тепловизионное обследование обнаруживает проблемы даже тогда, когда визуальное обследование показывает очень мало, либо совсем ничего. *Тепловые отклонения* указывают на ненормальное или подозрительное состояние оборудования. Хотя тепловые отклонения не всегда можно обнаружить, или трудно найти их причину, без сомнения, тепло, которое выделяется на

высоком электрическом сопротивлении, обычно предшествует неисправностям.

Если одна или две фазы или компоненты имеют различные температуры, которые нельзя объяснить обычным балансом нагрузок, это могут быть тепловые отклонения. Например, ненормально высокое сопротивление приводит к нагреву в точке соединения. Однако, если произошел отказ и напряжение пропало, то компонент может выглядеть более холодным.

Открытые электрические шкафы могут представлять опасность для термографиста. Поражение электрическим током случается не часто, поскольку проведение тепловизионного обследования не требует контакта. Однако существует опасность электрического пробоя, особенно при напряжениях 480 В и выше.

Например, открывание дверцы может вызвать электрический пробой, поскольку блокировка может быть неисправна, или шевелятся объекты, например, останки насекомых, пыль или мусор, внутри электрического шкафа. Это может привести к пробую между фазой и землей. Возникшая дуга может достигнуть температуры более 16650°C (30,000°F) менее чем за секунду. Только персонал, имеющий

специальный допуск, должен открывать шкафы, в которых находится электрооборудование под напряжением.

Термографисты должны прилагать все необходимые усилия для предупреждения и предотвращения электрического пробоя. Международные регулирующие органы могут разработать подробные требования, необходимые для минимизации опасности электрического пробоя. Эти требования включают в себя изучение опасности, методик проведения обследования и обсуждение необходимых средств индивидуальной защиты. Средства индивидуальной защиты предназначены для того, чтобы уменьшить возможные повреждения, вызванные интенсивным выделением тепла при электрическом пробое, и обычно включают средства защиты для глаз, головы, кожи и рук. См. Рис. 6-1.

Методики обследования электрооборудования основаны на здравом смысле, техноло-

гии и практическом опыте обслуживания. По возможности, компоненты и оборудование должны находиться в работе, после чего можно произвести непосредственное обследование тепловизором.

Иногда обследования приходится производить косвенным образом, например, для закрытой соединительной коробки двигателя или для воздушного закрытого шинпровода. Хотя в некоторых случаях просто не остается другого выбора, как для воздушного шинпровода, однако это не рекомендуется делать регулярно. Если крышки невозможно открыть, данные, полученные в результате такого тепловизионного обследования, сами по себе могут не дать необходимой информации.

Некоторые виды оборудования бывает настолько трудно обследовать и/или настолько опасно иметь доступ, что для обследования приходится принимать специальные меры. Дополнительные способы проведения об-

Средства индивидуальной защиты



Рис. 6-1. Средства индивидуальной защиты включают средства защиты глаз, головы, кожи и рук для уменьшения возможных повреждений вызванных интенсивным выделением тепла и другими опасностями, возникающими при электрическом пробое.

следования могут включать использование смотровых окон или инфракрасных смотровых окон, чтобы обеспечить возможность обзора закрытых пространств. Так же можно использовать другие технологии, например, анализаторы ультразвука.

Место установки инфракрасных смотровых окон необходимо выбирать очень внимательно, чтобы можно было увидеть все компоненты и устройства. *Инфракрасное смотровое окно* – это устройство, которое устанавливается

Инфракрасные прозрачные окна



Рис. 6-2. Инфракрасные смотровые окна обеспечивают прохождение инфракрасного излучения к тепловизору без необходимости открывать дверцы или шкафы.

в электрических шкафах для прохождения инфракрасного излучения, которое «видит» тепловизор. Инфракрасные прозрачные окна часто позволяют проводить тепловизионное обследование без необходимости открывать крышки и дверцы шкафов. **См. Рис. 6-2.**

Также можно использовать оборудование, которое регистрирует ультразвук. *Ультразвук*

порождается неисправным электрическим соединением. Он находится за пределами слышимого диапазона, но может быть обнаружен с помощью специальных устройств. Даже микроразряды, возникающие в месте соединения, обычно производят ультразвуки, которые можно обнаружить через щели или небольшие отверстия в корпусе шкафов.

Во время обследования особое внимание уделяется электрическим соединениям или контактам. Электрические соединения и контакты могут иметь нагрев вследствие ненормально высокого сопротивления и являются основным источником отказов в системах.

Также можно обнаружить дисбаланс тока между фазами. Часто это считается нормальным, как, например, в сетях освещения. Однако это может привести к дорогостоящим неисправностям в других элементах электрической системы, таких как двигатели, на которых может пропасть одна из фаз, или для любых цепей, которые перегружены.

Хотя тепловизоры широко используются для диагностики электрооборудования, они часто используются неэффективно или неправильно. Термографист может пропустить или неправильно диагностировать возможные проблемы. На видимую через тепловизор температуру поверхности, кроме серьезности проблемы, могут влиять многие другие факторы. Более того, соотношение между нагревом и степенью неисправности, особенно во времени, не всегда хорошо понятно.

Хорошо известно, что температура электрического соединения изменяется с изменением нагрузки. Тепловою мощность, выделяемая на соединении с высоким сопротивлением, можно предсказать (I^2R), однако температуру, которая при этом получается, предсказать труднее. По этой причине в некоторых стандартах рекомендуется, чтобы обследования проводились при нагрузке не менее 40% от максимально возможной нагрузки. Необходимо уделять особое внимание любым неоднородностям, обнаруженным на оборудовании под небольшой нагрузкой, где нагрузка должна возрасти в будущем.

Если дверцы нельзя легко открыть и нагревающиеся компоненты не видны напрямую, как, например, в случае с закрытым воздушным шинопроводом, градиент температур между проблемой и видимой поверхностью будет обычно очень большой. *Градиент температур* – это разность между действительной температурой в месте, где наблюдается проблема, и температурой, которая зарегистрирована или измерена на поверхности, которую фиксирует тепловизор. Разность температур величиной даже в 2,8°C (5°F) на закрытом шинопроводе может указывать на скрытое аварийное состояние. Маслонаполненные устройства, такие, как



Чтобы уменьшить нежелательные блики на дисплее, для тепловизоров существуют специальные солнцезащитные козырьки.

трансформаторы, имеют похожие или даже большие градиенты температур.

Внимательно необходимо подходить к проведению обследований на улице, когда скорость ветра превышает 8 км/ч (5 миль/ч). Например, перегревы на оборудовании необходимо сравнивать с тем, как они могли выглядеть в отсутствие ветра. Некоторые неоднородности могут стать ниже предела обнаружения, пока скорость ветра не упадет. Подобное влияние может наблюдаться на закрытом оборудовании, когда крышки открываются на какое-то время перед проведением обследования. Хорошие методики обследования требуют, чтобы обследование проводилось

как можно более быстро и безопасно после открытия крышек.

Просмотр изображения на дисплее на улице так же может быть непростой задачей. Условия освещения могут привести к появлению нежелательных бликов, которые уменьшают видимость зафиксированных деталей. Обследование оборудования, расположенного на улице, не обязательно проводить ночью, однако в ясную солнечную погоду можно так же получить ошибочные изображения из-за солнечного нагрева. Это особенно касается компонентов, окрашенных в темные цвета, таких как керамические изоляторы линий электропередач.

Задача получения надежных температурных данных об электрической системе не всегда является такой простой, как кажется. Даже при наличии хороших температурных данных, многие термографисты используют их неправильно при распределении приоритета или определении степени серьезности результатов. Например, температура не всегда является надежным показателем серьезности проблемы, поскольку она может измениться под влиянием многих факторов. Однако это не останавливает многих термографистов от неправильного восприятия, что чем более нагрет проблемный компонент, тем более серьезной является проблема по сравнению с другими, более холодными компонентами.

Точно так же можно ошибочно подумать, что проблемы нет, в случае, когда компонент или элемент оборудования не имеет особого нагрева. Для достижения максимальной эффективности применения тепловидения, при сборе и анализе тепловых данных необходимо быть внимательным.

Вместо того, чтобы устанавливать приоритет исключительно на основе температуры, лучше рассмотреть, как все параметры будут взаимодействовать и влиять на проблемный компонент. Это можно просто выполнить с помощью диагностических приборов, или более формально, проведя анализ основной причины неисправности с помощью инженерных инструментов анализа. Достоинства

правильно проведенных тепловизионных обследований электрооборудования являются неоспоримыми и успешные компании могут практически полностью исключить незапланированные простои, возникающие из-за отказов электрооборудования.

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЕ И МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Обследование электромеханического и механического оборудования охватывает различные виды оборудования. Тепловидение доказало свою нецеликомность при обследовании такого оборудования, как двигатели, вращающееся оборудование и конденсационные горшки. Большая часть такого применения является качественной. Текущее тепловое изображение сравнивается с изображением, полученным ранее. Затем регистрируются любые отличия или изменения состояния оборудования. Термографист должен иметь хорошее представление о способах передачи тепла, чтобы понимать, что происходит при работе и отказе оборудования.

Двигатели обследуют с помощью тепловизора, поскольку они являются очень восприимчивыми к неисправностям, связанным с тепловым режимом. Например, нарушение соосности или разбаланс обычно приводят к перегреву. И хотя полезно следить за температурами поверхности корпуса двигателя, изменение внутренних температур двигателя не всегда проявляется сразу. Может быть полезным получить тепловые изображения двигателя либо в течение времени, или в сравнении с другими подобными работающими двигателями. Например, это может помочь выявить двигатель, который засорился пылью или однофазный перегревающийся двигатель.

Тепловое изображение подшипников двигателя так же можно использовать для обследования. Например, если подшипники двигателя значительно теплее самого

двигателя, это указывает на возможные проблемы, которые требуют более внимательного изучения. Подобным образом, сцепления двигателей и подшипники валов, работающие нормально, должны иметь температуру, которая незначительно отличается от температуры окружающего воздуха. См. Рис. 6-3. Вместе с тепловидением полезно



Рис. 6-3. Сцепления и подшипники валов двигателя, работающие нормально, должны иметь тепловую сигнатуру, которая будет очень близкой к значению температуры окружающего воздуха.

пользоваться другими методами диагностики, такими, как вибрационный анализ или анализ двигательной цепи.

Тепловидение подтвердило свою особую ценность для обследования оборудования с низкой скоростью вращения, такого как конвейеры, где другие методы обследования могут быть неэффективными или ненадежными. Более сложные виды оборудования, такие как турбины, коробки передач, а так же теплообменники, так же можно проверять с

помощью тепловидения. Однако, они обычно требуют более значительных инвестиций в создание набора опорных данных до того, как результаты соответствующих обследований начнут приносить отдачу.

ПРИМЕНЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Тепловизионные обследования обычно используются для контроля оборудования, способного выдерживать высокие температуры, то есть, огнеупорного оборудования. Например, специалисты по эксплуатации могут использовать температурные данные для проверки состояния изоляции или расчета температур на поверхности, которые могут вызвать проблемы.

Опорное обследование – это обследование, предназначенное для того, чтобы определить базовые точки для оборудования в надлежащем рабочем состоянии, работающего в нормальных условиях. *Обследование для выявления трендов* – это обследование, которое выполняется после опорного обследования для получения изображений для сравнения. Контроль трендов во времени часто обеспечивает диагностическую и предупреждающую информацию. Это позволяет термографисту производить сравнение любых отличий или схожих черт, которые могут указывать на рабочее состояние оборудования.

Вначале необходимо провести опорные обследования, а затем проводить регулярные обследования для выявления трендов. Эти обследования должны планироваться на основании выявленной частоты отказов и состояния оборудования. В результате контроля трендов, возможности активного подхода к обслуживанию значительно возрастают, а случаи незапланированных простоев и дорогостоящих отказов сокращаются.

Все виды теплоизоляции можно проверить путем поиска неоднородностей температуры на поверхности. К таким видам теплоизоляции

относится теплоизоляция, которая используется на паропроводах, производственных линиях, системах трубопроводов, а так же для теплоизоляции промышленных линий (как паровых, так и электрических). К сожалению, многие системы теплоизоляции часто покрыты оболочкой из неокрашенного металла, что может в значительной степени снизить возможности термографии. Тепловые следы не так хорошо проявляются на оболочке из неокрашенного металла из-за низкого коэффициента излучения и высокого коэффициента отражения.

Одно из самых распространенных применений тепловидения – это обнаружение или

ПОДСКАЗКА

Конденсационные горшки и большинство задвижек при правильной работе будут иметь разность температуры на входе и на выходе. Конечно же, существует огромное количество видов конденсационных горшков и задвижек, и тепловое изображение каждого из них может иметь свои особенности. Поэтому, важно их внимательно обследовать на протяжении какого-то периода времени, чтобы знать, как выглядит их нормальная работа.

подтверждение уровней сыпучих веществ, жидкостей или газов в сосудах и бункерах. **См. Рис. 6-4.** Хотя большинство емкостей обычно оборудованы приборами для индикации уровня заполнения, их данные могут быть неточными из-за неправильной работы этих приборов, или, в других случаях, данные являются точными, но требуют независимой проверки.

Скорость, с которой эти материалы изменяют свою температуру при нестационарном теплообмене, определяется тем, как передается тепло, а так же различиями в теплоемкости сыпучих веществ, жидкостей и газов, находящихся в емкости. Температура газов

Уровни жидкости в емкостях



Рис. 6-4. Одно из самых распространенных применений тепловидения – это определение или подтверждение уровня материалов в емкостях, таких как резервуары для хранения или бункеры.

изменяется быстрее. Например, солнце может вызвать значительные тепловые изменения в наполненной газом части большой емкости, находящейся на улице, за считанные минуты. Сыпучие вещества, жидкости и плавающие материалы по-разному ведут себя при изменении температуры. Даже емкость, находящаяся в помещении, может иметь некоторые тепловые флуктуации, которые позволят обнаружить различные уровни.

Опытный термографист часто может определить уровни жидкости в емкостях. Там, где имеется теплоизоляция, для появления тепловых сигнатур может потребоваться больше времени, или необходимо предпри-

нять какие-то дополнительные меры. Для проявления уровней материала в емкости можно использовать дополнительные простые методы активной термографии, такие, как подача тепла или охлаждения за счет испарения. Например, простое кратковременное распыление воды на емкости и ожидание в течение нескольких минут, пока наружная поверхность емкости изменит температуру, часто позволяет проявить уровни. Нанесение вертикальной полосы краски или ленты, по которым может быть легко определен уровень, может помочь в случае теплоизолирующего металлического покрытия с низким коэффициентом излучения.

ДИАГНОСТИКА ЗДАНИЙ

Тепловидение уже долгое время используется для решения различных задач, связанных с диагностикой жилых и коммерческих зданий. Применение тепловидения для диагностики зданий включает поиск влаги в кровлях, обследование теплоизоляции зданий для выявления потерь тепла и течей воздуха, а так же выявления влаги. Как и в других случаях применения термографии, для успешного применения, необходимо понимания теоретических аспектов теплообмена, а так же конструкции зданий. Обследование коммерческих зданий может быть более сложным, чем обследование жилых зданий.

Обнаружение влаги в кровлях

По разным причинам, связанным с конструкцией, установкой или обслуживанием, в большинстве кровель с небольшим уклоном в течение года или двух развиваются серьезные проблемы. *Крыши с небольшим уклоном* – это плоские крыши, имеющие небольшой уклон для отвода осадков. Они состоят из несущего каркаса, на котором установлена жесткая изоляция и водостойкая мембрана.

Хотя повреждения, вызванные течью, возникшей в настоящее время, уже могут быть значительными, скрытые долгосрочные повреждения, вызванные захваченной влагой, обычно обходятся гораздо дороже. Как только влага попадает в систему кровли, она вызывает повреждение и преждевременное разрушение кровли. Благодаря выявлению и замене влажной теплоизоляции, удаляется влага из-под поверхности кровли, а срок службы кровли может быть значительно увеличен, превосходя средние ожидаемые значения.

Поиск влаги в кровлях, выполняемый с помощью тепловизора, является неразрушающим. См. Рис. 6-5. Влажная теплоизоляция имеет более высокую теплоемкость, чем сухая. Например, после теплого солнечного дня, в ясный безветренный вечер, крыша может быстро остыть. При быстром остывании крыши

влажная теплоизоляция остается более теплой по сравнению с сухой теплоизоляцией.

Поскольку можно увидеть такие проявления, большие площади крыш можно обследовать сравнительно быстро, отмечая участки, указывающие на влажную теплоизоляцию. При необходимости действительное наличие влаги во влажных областях можно подтвердить традиционными средствами, хотя такие методы часто являются медленными и требуют нарушения кровли. «Окно для проведения обследования» ночью может оставаться «открытым» на протяжении длительного времени, если будут благоприятные условия.

Точный тепловой след, который можно увидеть на тепловизоре, а так же время, когда его можно выявить, зависит от состояния и типа теплоизоляции кровли. Адсорбирующие виды теплоизоляции, которые обычно используют в кровлях с небольшим уклоном, такие как стекловата, целлюлоза, базальтовая вата, дают четкие тепловые следы. Неадсорбирующие виды теплоизоляции, такие как пеноблоки, которые используются в однослойных системах кровель, обследовать труднее. Это связано с тем, что они слабо поглощают воду. Многие однослойные кровли так же имеют балласт в виде тяжелого слоя щебня, который может давать слабые проявления тепловых следов.

На тепловые сигнатуры, кроме влаги, находящейся под поверхностью, так же влияют различные условия. Поверхность кровли должна быть сухой, иначе испарение уменьшит солнечный нагрев. Сильная облачность вечером может снизить охлаждение, а сильный ветер может вообще убрать все тепловые сигнатуры.

Конструкция крыши и ее физическое состояние так же влияют на тепловые сигнатуры. Например, западная стенка парапета может долгое время излучать тепло на кровлю ночью. Дополнительное песчаное покрытие кровли будет оставаться более теплым, а недавно отремонтированные участки кровли могут иметь вид, который будет отличаться от окру-

Обследование кровель для поиска влаги

РАБОЧИЙ НАНОСИТ
МЕТКИ НА КРОВЛЮ С
ПОМОЩЬЮ КРАСКИ

ТЕРМОГРАФИСТ
С ТЕПЛОВИЗОРОМ



РИСУНКИ, ВЫЯВЛЯЕМЫЕ
С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОВИЗОРА,
МОЖНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ ДЛЯ
ОБНАРУЖЕНИЯ НАЛИЧИЯ ВЛАГИ

Рис. 6-5. Обследование кровель для поиска влаги не повреждают кровли и легко выполняются с помощью тепловизора.

жающих участков. Понимание такого влияния и того, как оно будет сказываться на тепловых сигнатурах, важно для успешного проведения обследования.

В идеальном случае необходимо провести обследование кровли сразу же после установки, чтобы получить опорное тепловое изображение. А затем провести следующее обследование сразу же после событий, которые могли привести к возможным повреждениям, например, сильная гроза с градом, торнадо или ураган. При появлении сильных течей, быстрое тепловизионное обследование сразу же

после их выявления может помочь определить их точное местоположение, а так же степень повреждения теплоизоляции.

При проведении обследования кровель необходимо уделять большое внимание безопасности работы. Работы на крыше никогда нельзя выполнять в одиночку. Термографисты подвергаются дополнительной опасности, поскольку яркий дисплей не дает их глазам адаптироваться к условиям низкой освещенности, которые бывают на большинстве крыш. Такое состояние известно как ночная слепота. Важным является предварительное обследо-

вание кровли в дневное время для выявления возможных опасностей, а так же определения состояния кровли.

Обследование теплоизоляции зданий

Тепловидение идеально подходит для определения наличия и эффективности теплоизоляции. Его широко применяют энергоаудиторы, различные подрядчики, а так же строительные инспекторы. Обычно теплоизоляция в зданиях используется для управления теплопередачей, связанной получением или потерями тепла. Если теплоизоляция отсутствует, повреждена или работает не так, как необходимо, увеличивается потребление энергии и стоимость кондиционирования, а так же снижается комфорт в здании.

Хотя сокращение чрезмерного энергопотребления является важным, хорошо спланированное тепловизионное обследование может так же повысить комфорт для жителей, а так же привести к снижению энергопотребления. К другим проблемам, которые часто можно обнаружить с помощью тепловизионных обследований, относятся нежелательные течи или конденсация влаги, формирование льда на крыше, а так же замерзание трубопроводов. Тепловидение также помогает проверить циркуляцию воздуха в кондиционируемых помещениях и проверить размещение звукоизоляции.

Обычно проблемы с теплоизоляцией можно выявить, когда разность температур воздуха снаружи и внутри здания составляет не менее 10°C (18°F). Например, во время отопительного сезона, отсутствующая теплоизоляция выглядит как холодный участок изнутри и теплый снаружи. Во время сезона, когда требуется охлаждение, тепловая сигнатура выглядит наоборот. Полезно знать, какой вид теплоизоляции используется, поскольку каждый вид может иметь свою собственную сигнатуру и постоянную времени.

Большинство тепловизионных обследований требуют работы как внутри, так и снаружи

здания. Однако сильный ветер и прямые солнечные лучи могут сделать работу снаружи трудной или невозможной. Эти условия могут привести к явлениям, которые так же проявятся изнутри, однако более неожиданным образом, поскольку они являются косвенными. Обследования во время сезона охлаждения могут быть ограничены только проведением обследований внутри или проведением наружных обследований только в вечернее время. В оптимальных условиях, отсутствующая, поврежденная или недостаточная теплоизоляция,



Тепловидение можно использовать для поиска потерь тепла в зданиях вокруг таких участков, как окна, карнизы или в стенах с плохой теплоизоляцией.

а так же расположение каркаса, могут быть обнаружены опытным квалифицированным термографистом, который правильно использует тепловизор.

Обнаружение течей воздуха

Чрезмерные воздушные течи, как направленные внутрь, так и из здания, потребляют до половины расходов на отопление, вентиляцию и кондиционирование. Воздушные течи обычно возникают за счет разности давлений по зданию. Разности давлений могут возникать за счет ветра, но так же могут быть вызваны

конвективными силами, присутствующими в любом здании, а так же дисбалансом давлений, связанным с системой ОВКВ.

Разности давлений проталкивают воздух через множество отверстий и щелей, имеющихся в здании. Отверстия в тепловых ограждающих конструкциях, такие, как вводы проводов или трубопроводов, часто небольшие и незаметные на первый взгляд. *Тепловая ограждающая конструкция* – это границы пространства, которое необходимо обогревать, вентилировать или охлаждать в здании.

Тепловые следы на поверхностях в зданиях

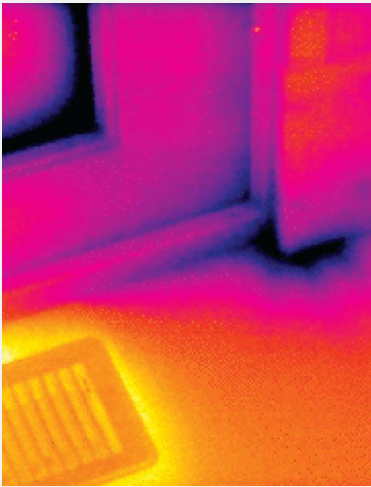


Рис. 6-6. Тепловые следы, связанные с течами воздуха, часто имеют характерный «размытый» вид.

Обычно для обнаружения течей воздуха достаточно незначительной разности температур снаружи и внутри здания, порядка 3°C (5°F). Воздух сам по себе невозможно увидеть, но он часто проявляется на различных поверхностях здания в виде характерных размытых

тепловых следов. См. **Рис. 6-6**. Во время отопительного сезона, тепловые сигнатуры будут обычно иметь вид холодных полос на внутренних поверхностях здания, или теплых цветов снаружи, где выходит теплый воздух. Так же можно увидеть перемещение воздуха внутри полостей здания, даже во внутренних или наружных стенах с теплоизоляцией.

Если искусственно создать разность давлений в здании, следы течей воздуха можно сделать более четкими и охарактеризовать количественно. Это можно сделать с помощью системы ОВКВ или вентилятора для нагнетания воздуха через дверь.

Обнаружение влаги

Влага часто попадает в здания и вызывает разрушение строительных материалов. Обычно влага проникает в здание через негерметичные стыки конструкций или швы. Влага так же может появиться в результате конденсации. Конденсация обычно возникает, когда влажный теплый воздух из здания попадает в более холодные полости в здании. Другими источниками влаги могут быть наводнения, подземные воды, а так же течи из водопровода и систем пожаротушения.

Во всех данных примерах тепловой след наличия влаги является четким, особенно когда условия подходят для испарения с влажной поверхности. В таких случаях поверхность будет выглядеть более холодной. Влажные строительные материалы так же имеют более высокую теплопроводность, и в случае нестационарного теплообмена, имеют большую теплоемкость по сравнению с сухими. В таком случае тепловые следы могут быть не всегда четкими. Необходимо убедиться в том, что условия позволяют увидеть наличие влаги. Например, рекомендуется произвести дополнительные измерения с помощью измерителя влажности, чтобы в случае обнаружения подозрительных областей, произвести подтверждение.

Обследование коммерческих зданий

В то время как проведение обследований жилых зданий достаточно понятно, обследование больших коммерческих зданий является более сложным. Однако их окупаемость благодаря получению информации об эффективности больших зданий, часто является значительной и обычно оправдывает проведение тщательного обследования и анализа. Важно понимание особенностей конструкции здания и обеспечение термографисту полного доступа, чтобы выяснить комплексное взаимодействие между различными компонентами здания.

Течи воздуха, проникновение влаги и конденсация являются самыми распространенными проблемами в коммерческих зданиях. Тепловизор – это мощный инструмент для поиска источника различных проблем, возникающих в больших строениях. По возможности, большие здания следует обследовать сразу же после завершения строительства, когда каждый этаж закрыт, имеет теплоизоляцию и отделку. Это позволяет выявить и устранить проблемы с конструкцией и выполнением строительных работ до того, как здание будет закончено и сдано.



МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ОБСЛЕДОВАНИЙ

Термографисты проводят три основных вида обследований. Это обследование для сравнения, получения опорных изображений и выявления температурных трендов. Выбор вида обследования зависит от типа обследуемого оборудования и типа необходимых данных. Каждый вид обследования может быть эффективным при правильном применении.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ТЕРМОГРАФИЯ

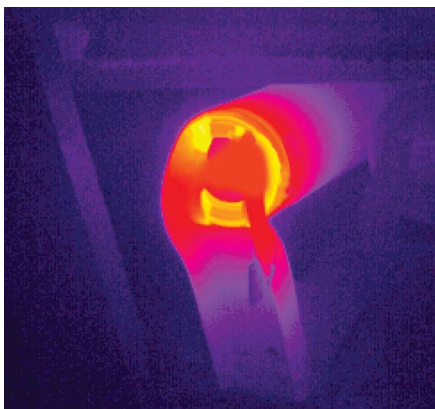
Термографисты разработали ряд методов, расширяющих применение тепловидения. Основным используемый метод – это сравнительная термография. *Сравнительная термография* – это процесс, которым пользуются термографисты для сравнения состояния похожих компонентов в похожих условиях, для оценки состояния проверяемого оборудования.

При правильном и корректном использовании сравнительной термографии, отличия в обследуемом оборудовании часто будут указывать на его состояние. *Количественная термография*, в отличие от качественной термографии, требует более полного понимания переменных и ограничений, влияющих на результаты радиометрических измерений. *Количественная термография* – это термография, которая использует радиометрические значения температуры. Качественная термография – это термография, которая не использует радиометрические значения температуры.

Важно определить, какая величина погрешности является допустимой, перед началом обследования, чтобы работать внимательно и оставаться в пределах этой погрешности. В основном, для понимания количественной тер-

мографии важно практическое изучение передачи тепла и опыт использования тепловизора. Большая часть тепловизионных обследований состоит в сравнении. Сравнивая обследуемый объект с подобным зачастую просто обнаружить проблему. Обучение и опыт являются основой данного процесса, поскольку может существовать множество факторов, которые необходимо учитывать.

Чтобы сравнительная термография была эффективной, термографист должен исклю-



Качественная термография обычно не требует знания радиометрических значений температуры. Она позволяет сравнить контрасты тепловых изображений похожих компонентов.

читать из сравнения все факторы, кроме одного. Часто это простое, но важное требование не выполняется из-за сложных условий проведения обследования или недостаточных навыков термографиста. В результате, данные могут быть непоказательными или могут приводить к неверным выводам. Необходимо принимать во внимание все факторы, которые могут привести к образованию наблюдаемых тепловых сигнатур.

Например, тепловое изображение трехфазного электрического разъединителя может показать, что одна из фаз имеет более высокую температуру, чем другие. См. Рис. 7-1. Если нагрузка на всех фазах сбалансирована, неравномерный нагрев может быть связан с соединением, имеющим высокое сопротивление. Однако если результаты измерений показывают, например, нагрузку 30/70/30 А, то полученные результаты скорее всего свидетельствуют о несбалансированности электрических фаз.

Сравнительная термография

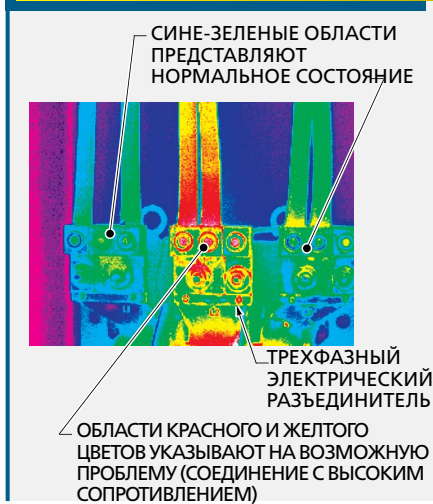


Рис. 7-1. Сравнительная термография может использоваться на трехфазном электрическом разъединителе и показать, что одна из фаз имеет более высокую температуру по сравнению с остальными.

Сам по себе, тепловизор не может проанализировать изображение. Это сочетание умения, опыта и уверенности термографиста в правильном использовании системы, зачастую в сочетании с дополнительными данными, необходимыми для правильной интерпретации. Конечно, неправильная диагностика отклонения может привести к повреждению или утрате ценного оборудования.

При использовании сравнительной термографии, полезно собрать как можно больше информации об обследуемом оборудовании. Это может быть информация о конструкции, характере работы, возможных причинах неисправности, направлении тепловых потоков, а так же история работы объекта. Поскольку эти данные не всегда доступны, термографист должен уметь задавать владельцам оборудования или специалистам по эксплуатации четкие, простые вопросы.

Важнее, чем умение задавать вопросы, умение термографиста внимательно слушать ответы. Многие термографисты не справляются с этими задачами как вместе, так и по отдельности, что влияет на их работу. Навыки общения для термографиста так же важны, как и техническая подготовка, особенно при работе с незнакомым оборудованием или материалами.

ОПОРНЫЕ ОБСЛЕДОВАНИЯ

Опорные обследования должны установить опорные точки, характеризующие работу оборудования в нормальном рабочем состоянии. Важно определить, что такое нормальное или желаемое состояние оборудования, и использовать его как опорную сигнатуру, с которой в дальнейшем будут сравниваться последующие изображения. Часто опорная сигнатура является однородной или каким-то образом связано со структурой обследуемого объекта. Например, после того, как двигатель был установлен и введен в работу, любые отличия проявятся на последующих тепловых изображениях. См. Рис. 7-2.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ТРЕНДЫ

Другая методика проведения тепловизионных обследований связана с выявлением тепловых трендов. Выявление *тепловых трендов* – это

Опорная термография

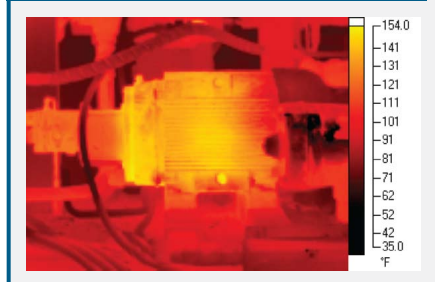


Рис. 7-2. Многие отличия тепловой сигнатуры двигателя проявятся при последующих обследованиях.

процесс, который используется термографистами для сравнения распределения температур компонента во времени. Определение тепловых трендов широко применяется для обследования механического оборудования, где нормальные тепловые сигнатуры могут быть сложными. Такая методика так же полезна, если тепловые сигнатуры, указывающие на неисправность, медленно изменяются со временем. Например, построение тепловых трендов может использоваться для контроля работы огнеупорной (высокотемпературной) теплоизоляции в специальной железнодорожной платформе, чтобы определить оптимальное время для проведения обслуживания. См. Рис. 7-3.

Для термографиста важно понимать все факторы, влияющие на обследуемое оборудование. Термографисты должны понимать принципы работы различных систем и развивать навыки поиска неисправностей. Если данные тщательно собираются, а изменения анализируются, эти методы могут очень точно отобразить развитие состояния. Однако, важно помнить, что построение тренда позволяет только сделать предположения, а не предсказать будущее.

Построение тепловых трендов

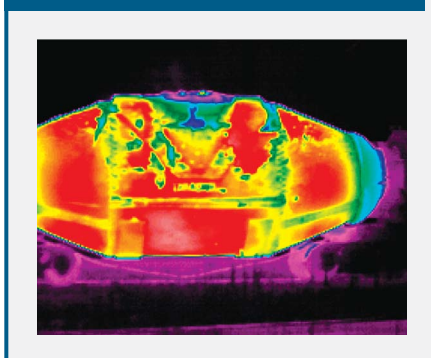
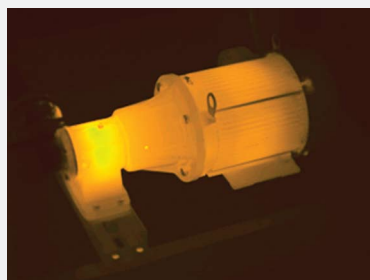


Рис. 7-3. Построение тепловых трендов используется для обследования высокотемпературного оборудования, у которого тепловые сигнатуры, например, как у данной торпеды (заполненной расплавленным металлом), могут быть сложными и могут указать на износ футеровки только с течением времени.

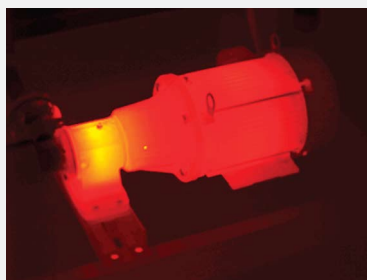
Палитры

Палитры

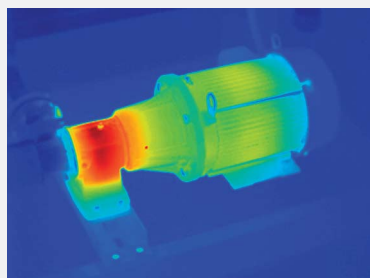
Палитра – это набор цветов, который используется для отображения различных температур и рисунков на тепловом изображении. Независимо от того, производится ли обследование или анализ, необходимо выбрать палитру, которая позволяет выделить проблему наилучшим образом. В идеальном случае, необходимо выбирать тепловизор, который позволяет пользователю выбирать или изменять необходимую палитру как на тепловизоре, так и в программном обеспечении. Например, для решения одних задач изображение лучше просматривать или анализировать в монохроматических палитрах, таких как серая или янтарная. В других ситуациях может быть проще и нагляднее использовать цветные палитры, такие как цвета побежалости, сине-красная или одна из высококонтрастных палитр. Широкий выбор доступных цветовых палитр обеспечивает термографисту гибкость при проведении тепловизионных обследований, анализа и составлении отчетов.



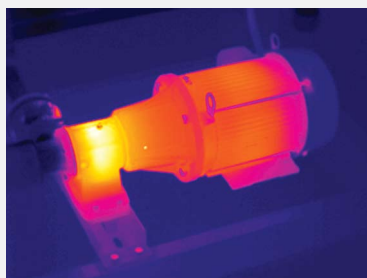
ЯНТАРНАЯ ПАЛИТРА



ГОРЯЧИЙ МЕТАЛЛ



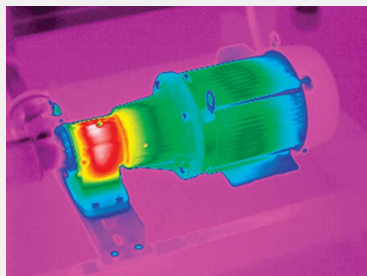
СИНЕ-КРАСНАЯ ПАЛИТРА



ЦВЕТА ПОБЕЖАЛОСТИ



ГРАДАЦИИ СЕРОГО



ВЫСОКИЙ КОНТРАСТ



АНАЛИЗ, СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТОВ И ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ

Кроме способности правильно пользоваться и применять тепловизоры, работа термографиста заключается в анализе, составлении отчетов и документировании результатов обследования оборудования. Для правильного выполнения этой задачи существуют специальные инструменты.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБСЛЕДОВАНИЯ

Термография сильно зависит от способности термографиста правильно проводить обследования, понимать ограничения работы, собирать необходимые дополнительные данные и правильно интерпретировать результаты. Факторы, которые приходится учитывать термографисту, могут изменяться, и их может быть множество. В результате, термографист должен иметь достаточный опыт и квалификацию для проведения тепловизионных обследований.

Термографисты могут иметь сертификацию Уровня I, Уровня II или Уровня III, где Уровень I – это начальный уровень сертификации, а уровень III – самый высокий уровень. С формальной точки зрения, при внедрении программы тепловизионных обследований, термографист имеющий сертификацию Уровня I, может собирать данные, но должен работать под надзором сертифицированного термографиста Уровня II. Термографист Уровня II может интерпретировать данные и составлять отчеты. Правильная программа тепловизионных обследований должна иметь утвержденные методики проведения обследований, обычно основанные на промышленных стандартах и разработанные с участием термографиста, имеющего сертификацию Уровня III.

СОЗДАНИЕ ОТЧЕТОВ И ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ

После того, как была произведена правильная оценка температурных данных, результаты

может потребоваться передать в понятной форме в виде написанного отчета. В процессе создания отчета может потребоваться сообщить заказчику об ограничениях, которыми обладает термография и о ценности тепловизионных обследований. В итоге, результатом отчета часто являются предписания выполнить необходимые действия для устранения проблем, выявленных во время тепловизионного обследования.

Так же термографист обычно дает дополнительную информацию, включающую указание места, где находится проблема, диагноз и предполагаемые действия для исправления. Термографист предоставляет ключевую информацию по результатам тепловизионного обследования, которую можно совместить с результатами других обследований или испытаний, с расписанием проведения обслуживания или ремонта, а так же анализ расходов перед выдачей заключения. Поэтому, хорошие навыки общения так же важны, как и технические навыки.

Отчеты могут иметь разный вид и содержать различные данные. Однако любой отчет должен содержать следующую информацию:

- Имя термографиста
- Производитель, модель и серийный номер тепловизора
- Необходимая информация об окружающих условиях, такая как скорость и направление ветра, осадки, влажность и температура окружающего воздуха
- Условия работы системы, такие, как текущая и максимальная нагрузка

- Наименование и место расположения оборудования и обследуемых или проверяемых компонентов
- Перечень критического оборудования, которое не было обследовано, с указанием причин, почему обследование не было произведено
- Параметры настроек прибора, такие как коэффициент излучения и настройки температуры фона
- Тепловизионные изображения и соответствующие изображения всего обследованного оборудования и компонентов в видимом спектре
- Раздел, в котором рекомендуется проведение повторного обследования для подтверждения результатов ремонта оборудования

Документация так же должна быть представлена таким образом, чтобы не внести путаницу в отчет, а наоборот, четко и ясно выделить важную информацию. Самые лучшие отчеты о тепловизионных обследованиях предоставляют данные в естественном виде, чтобы прояснить тепловые и видимые изображения. См. Рис. 8-1.

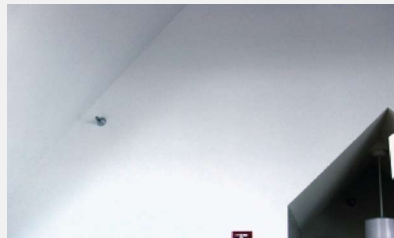
Полезно иметь набор из нескольких различных шаблонов отчетов. Например, простой шаблон отчета можно использовать для подтверждения успешного выполнения ремонта оборудования, которое обследовалось или проверялось с помощью тепловизора. Для отдельных категорий тепловизионных обследований могут использоваться специальные шаблоны отчетов.

После завершения подготовки отчета, при необходимости, ключевым сотрудникам должны быть предоставлены дополнительные копии каждого отчета. Копии могут быть в печатном или в электронном виде. Перед отправкой, во избежание манипуляций с результатами обследования и анализа, электронные отчеты должны быть сохранены и заблокированы от изменений (например, в виде формата PDF).

Дополнительную пользу от тепловизионных обследований можно получить при специальном отслеживании отдельных проблем по категориям. Например, можно указать и сохранить информацию, которая относится к проблемам, связанным с какой-то отдельной торговой маркой оборудования или с определенным процессом. Позже к этой информации можно обратиться и определить проблемы, общие для определенного оборудования, что поможет будущим пользователям.

Кроме умения обращаться и правильно использовать тепловизоры, успешный термографист должен уметь правильно анализировать и сообщать результаты обследований. Это умение необходимо для того, чтобы заработать и поддерживать хорошую репутацию, связанную с качественно выполненной работой. Отчеты предоставляют наилучшую возможность оставить рекомендации после обследования.

Создание отчетов и документирование



ВИДИМОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ



ТЕПЛОВОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ

Рис. 8-1. Отчеты о тепловизионных обследованиях обычно содержат тепловые изображения и соответствующие им видимые изображения для справки.



ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ ПО ТЕРМОГРАФИИ

Для получения дополнительной информации о термографии и тепловизорах можно пользоваться такими источниками, как информация об обновлении оборудования, указания по технике безопасности, семинары и тренинги, учебные пособия, а так же профессиональные организации и организации по стандартизации. Информация может быть в электронном или в печатном виде.

ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

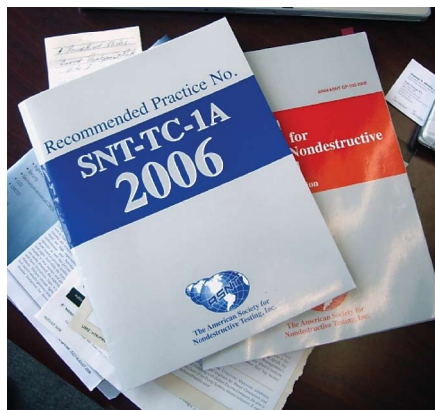
Информацию по термографии и тепловизорам заинтересованные пользователи могут получить из различных источников. Данная технология используется для диагностики в промышленности, коммерции и строительстве уже более 40 лет. Однако, многие профессионалы, такие, как специалисты по эксплуатации и электрики, находятся на начальных этапах освоения данной технологии, а так же преимуществ, которые дают термография и тепловизоры.

С наработкой новых данных, применение термографии в последние годы быстро рас-

ширяется. Следует помнить, что некоторая информация, относящаяся к термографии, особенно та, которая опубликована во всемирной паутине, может быть неточной или не соответствовать действительности. Настоятельно рекомендуется изучать основы, пользуясь источниками, такими как данная публикация, а так же перечисленными ниже источниками. Рекомендуется критически относиться к информации, которая приходит из непроверенных источников. Основными источниками информации являются стандарты, сетевые ресурсы, книги и публикации, а так же профессиональные организации.

Стандарты

Стандарт – это утвержденный документ или методика, разработанная профессионалами. Стандарты предоставляют набор утвержденных требований, в соответствии с которыми можно выполнять работу. Хотя следование промышленным стандартам является добровольным, необходимо так же соблюдать утвержденные признанные стандарты. Стандарты создаются при участии различных промышленных экспертов и доступны в различных организациях. **См. Рис. 9-1.** Они могут быть ценным источником необходимой подробной информации по различным аспектам термографии.



Информацию можно найти в изданиях различных организаций по стандартизации.

Сетевые ресурсы

Сетевые ресурсы доступны только пользователям Интернет. Эти ресурсы дают большое количество информации для студентов, термографистов и специалистов. Дополнительную информацию можно получить у производителей оборудования, в организациях по стандартизации, учебных пособиях и в профессиональных организациях. К сетевым ресурсам может относиться форум, где опытные представители производителей оборудования могут общаться с пользователями для разрешения проблем или предоставления рекомендаций по оборудованию.

Книги и печатные издания

Книги и печатные издания – это печатные источники, которые можно использовать для справки. Они служат для повышения уровня знаний любого, кто использует термографию и инфракрасную технологию для проведения обследований и проверок. Существует множество книг и печатных изданий.

Профессиональные организации

Профессиональные организации – это организации, которые предоставляют информацию и обучение по термографии посредством публикаций, тренингов и участия в местных организациях. Термографистам и специалистам рекомендуется вступать в различные профессиональные организации. Членство в таких организациях помогает отдельным членам быть в курсе последних технологий, тенденций и изменений в промышленности. Членство в профессиональной организации предоставляет новые возможности и помощь в получении знаний о тепловидении, новом оборудовании и методиках проведения проверок/обследований.

Организации по стандартизации	
Американское общество неразрушающего контроля (ASNT)	
1711 Arlingate Lane PO Box 28518 Columbus, OH 43228 614-274-6003	www.asnt.org
ASTM International (ASTM)	
100 Barr Harbor Drive PO Box C700 West Conshohocken, PA 19428 610-832-9598	www.astm.org
Канадская организация стандартов (CSA)	
5060 Spectrum Way Suite 100 Mississauga, ON L4W 5N6	www.csa.ca
Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE)	
1828 L Street NW Suite 1202 Washington, DC 20036 202-785-0017	www.ieee.org
Международная электротехническая комиссия (IEC, МЭК)	
3, rue de Varembe' PO Box 131 CH-121 Geneva 20 Switzerland	www.iec.ch
Международная организация по стандартизации (ISO)	
1, ch. de la Voie-Creuse Case postale 56 CH-1211 Geneva 20, Switzerland +41 22 749 01 11	www.iso.org
Национальная ассоциация пожарной безопасности (NFPA)	
1 Batterymarch Park Quincy, MA 02169 617-770-3000	www.nfpa.org

Рис. 9-1. Стандарты и утвержденные справочники или методики, разработанные профессионалами и доступные через различные организации.



Кроме термографии, для обследования и поиска неисправностей коммерческого и промышленного оборудования и компонентов, используются и другие сопутствующие технологии и методы. Эти методы включают визуальный осмотр и прослушивание, электрический анализ, ультразвуковой анализ, вибрационный анализ, анализ смазки и частиц износа. Их можно использовать как самостоятельно, так и после обследования с помощью тепловизора для подтверждения полученных результатов.

ВИЗУАЛЬНЫЙ ОСМОТР И ПРОСЛУШИВАНИЕ

Визуальный осмотр и прослушивание – это анализ внешних проявлений проблем и работы оборудования на слух для выявления компонентов, которые нуждаются в обслуживании или ремонте. См. **Рис. 10-1**. Визуальный осмотр и прослушивание – это самые простые методы диагностического обслуживания, которые используют на предприятиях, и которые не требуют наличия инструментов или оборудования. Они являются самыми эффективными тогда, когда возможные проблемы являются очевидными для опытного специалиста по эксплуатации. Регистрируются необычные проявления в работе оборудования, и планируется проведение необходимого обслуживания.

Визуальное обследование может дополняться вспомогательными методиками, такими как проверка с помощью проникающих красителей для выявления тонких трещин на поверхности металла. Металл очищается, на него наносится краситель, который собирается в маленьких трещинах или углублениях на поверхности металла. Излишки красителя удаляются, чтобы проявить маленькие трещины или углубления на поверхности.

Визуальное обследование и прослушивание



Рис. 10-1. Специалисты по эксплуатации регулярно проверяют внешний вид и звучание работающего оборудования, проводя визуальное обследование и прослушивание.

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Анализ электрических параметров – это методика анализа с использованием электроизмерительного оборудования для оценки качества электроэнергии, которая подается на оборудование, а так же эффективности работы электрооборудования. См. **рис. 10-2**. Можно установить оборудование для контроля качества электроэнергии и измерения минимального и максимального напряжений, из-

менения напряжения между фазами, падения напряжения и измерения силы тока.

Анализ электрических параметров



Рис. 10-2. Для анализа электрических параметров используется электроизмерительное оборудование, чтобы оценить качество энергии, подаваемой на оборудование.

Так же производится оценка качества электроэнергии, которая подается на чувствительное электронное оборудование.

Анализ электрических параметров больше всего используется для оценки состояния электрических двигателей и их цепей. *Анализ цепей двигателей* – это вид анализа электрических параметров двигателей и их цепей, который можно выполнять либо во время работы (под напряжением), либо в выключенном состоянии. Оба метода проверки обеспечивают раннее выявление дефектов и неисправностей в электро-распределительных системах двигателей, цепях двигателей и приводах двигателей.

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ АНАЛИЗ

Ультразвуковой анализ – это способ контроля оборудования, в котором используется усиленные высокочастотных звуков для выявления возможных проблем с оборудованием. Чувствительное звукоулавливающее устройство преобразует эти звуки, которые обычно находятся за пределами звукового диапазона, в сигналы, которые могут восприниматься человеком. Эти сигналы, кроме всего прочего, могут указывать на ненормальный нагрев электрических соединений, течи в воздушных и паровых системах,

трение в подшипниках, а так же на множество других проблем оборудования.

ВИБРАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ

Вибрационный анализ – это способ контроля вибрационных характеристик отдельных компонентов для определения состояния оборудования. Изношенные элементы часто вызывают отказы оборудования. Они так же производят повышенную вибрацию и шум, которые можно выделить. Вибрационный анализ является самым распространенным видом контроля, который используется для вращающегося оборудования.

АНАЛИЗ СМАЗОЧНОГО МАСЛА

Анализ смазочного масла – это метод диагностического обслуживания, который определяет наличие кислот, загрязнений, топлива или частиц износа в смазочном масле и анализирует эти вещества для предупреждения отказа оборудования. Анализ смазочного масла производится на регулярной основе. Из оборудования отбирается образец масла для определения состояния смазки и движущихся частей. Образцы обычно отправляются в компанию, которая специализируется на анализе смазочного масла.

АНАЛИЗ ЧАСТИЦ ИЗНОСА

Анализ частиц износа – это исследование частиц, присутствующих в смазочном масле. В то время, как анализ смазочного масла концентрирует внимание на состоянии смазочного масла, анализ частиц износа сконцентрирован на размере, концентрации, форме и составе частиц, которые получаются из изношенных элементов. Состояние оборудования оценивается посредством контроля частиц износа. При регулярном контакте элементов оборудования между собой, происходит нормальный износ. Увеличение концентрации и размера частиц износа в смазочном масле указывает на износ элементов и предупреждает о возможном отказе.



А

- Поглощение 23
- Ультразвуковой анализ 47
- Поиск течей воздуха 54–55, 55
- Американское общество неразрушающего контроля (ASNT) 14
- Американское общество по испытанию материалов (ASTM) 16
- Дуговой разряд 14
- Электрический пробой 14
- ASNT 14
- ASTM 16

В

- Опорное обследование 50
- Опорные обследования 58–59, 59
- Книги по термографии 64
- Диагностика зданий 51
- Поиск течей воздуха 54–55, 55
- Обследование коммерческих зданий 55
- Обследование теплоизоляции 53
- Поиск влаги 55
- Поиск влаги в кровлях 52–54, 53
- Обследование теплоизоляции зданий 53

С

- Кейс, Теодор 2
- Обследование коммерческих зданий 55
- Сравнительная термография 57–58, 58
- Теплопроводность 20–21
- Теплопроводящие материалы 21
- Органы управления* 7
- Конвекция 21–22, 22

Д

- Программное обеспечение для обработки данных 8
- Устройства хранения данных 7–8
- Приемник излучения и электроника для обработки сигнала 6–7
- Дисплей 6–7
- Дисплей* 6

Е

- Анализ электрических параметров 65–66, 66
- Корпуса электрооборудования 15
- Применение термографии для электрооборудования 45–49

- Электромагнитная энергия 22
- Электромагнитный спектр* 23
- Обследование электромеханического оборудования 49
- Испускание 23, 24
- Коэффициент излучения 25, 26
- Энергия 19
- Влияние окружающей среды 28

Ф

- Поле зрения 26, 27
- Первый закон термодинамики 19
- Безопасное расстояние 14, 15
- Матрица в фокальной плоскости 3–4, 4
- Поле зрения 26, 27

Н

- Теплопередача 19–20
- Гершель, Джон 2
- Гершель, Вильям 1–2

И

- Мгновенное поле зрения 26
- Мгновенное поле зрения для измерений 27, 28
- Инфракрасная термография 1
- История 1–4
- Инфракрасные смотровые окна* 47
- Обследование. См. Тепловизионное обследование
- Анализ результатов обследования 1
- Методики обследования 16–17
- Отчеты об обследовании 61–62, 62
- Мгновенное поле зрения 26–27
- Обследование теплоизоляции 53
- Теплоизоляционный материал 21
- Международная организация по стандартизации (ISO) 14
- ISO 14

Л

- Объектив 5, 6
- Уровень заполнения 50–51, 51
- Уровень жидкости 50–51, 51
- Длинноволновый тепловизор 4
- Кровли с небольшим уклоном 52
- Анализ смазочного масла 66

М

- Специалист по эксплуатации 65

Анализ цепей двигателя 66
Обследование механического оборудования 49
Меллони, Македонио 2
Микрон (мкм) 4
Средневолновый тепловизор 4
Обнаружение влаги 55
Анализ цепей двигателя 66
Обследование двигателей 49

N

Ночная слепота 16
Леопольдо Нобили 2

O

Управление по охране труда и промышленной гигиене (OHSА) 16
Сетевые ресурсы 64
OHSА 16

P

Средства индивидуальной защиты (СИЗ)* 46
Пиксель 3–4
СИЗ* 46
Применение в технологических процессах 50–51
Программное обеспечение для обработки 8
Профессиональная организация 64
Пировидикон 3

Q

Квалифицированный специалист 15
Качественная термография 57
Количественная термография 57

R

Излучение 1, 20, 22–23, 24
Радиометрическое изображение 3
Отражение 24
Программное обеспечение для создания отчетов 8
Создание отчетов и документирование 61–62, 62
Источники информации 63–64
Обнаружение влаги в кровлях 52–54, 53

S

Безопасность на рабочем месте 14–16
Второй закон термодинамики 19
Зеебек, Томас 2
Программное обеспечение 8
Стандарт 63
Организации 64
Стандарты 16–17
Уравнение Стефана-Больцмана 22
Температура поверхности 25–26

T

Объект 4, 5
Температура 19
Погрешность измерения температуры 26
Влияние окружающей среды 28

Поле зрения 26, 27
Мгновенное поле зрения 26–27
Теплоемкость 20
Тепловые ограждающие конструкции 54
Тепловые отклонения 45
Градиент температур 48
Тепловизор 2, 3, 6, 17
Компоненты 5–8
Развитие 2–4
Принципы работы 4, 5
Тепловизионное обследование
Опорное тепловизионное обследование 58–59, 59
Диагностика зданий 51–56
Применение для электрооборудования 45–49
Применение для электромеханического оборудования 49
Применение для механического оборудования 49
Применение для технологических процессов 50–51
Визуальный осмотр и прослушивание* 65
Тепловое излучение 22–23
Тепловые сигнатуры 9, 49
Определение тепловых трендов* 59
Термодинамика 19
Термограмма 4–5
Термографист
Сертификация 61
Подготовка документации 61–62
Квалификация термографистов 13, 13–14
Термография
Сравнительная термография 57–58, 58
Качественная термография 57
Количественная термография 57
Применение термографии
Применение для электрооборудования 45–49
Применение для электромеханического оборудования 49
Применение для механического оборудования 49
Источники информации по термографии 63–64
Пропускание 23, 24
Выявление трендов 50

U

Ультразвуковой анализ 66

V

Вибрационный анализ 66
Визуальный осмотр и прослушивание* 65

W

Анализ частиц износа 66
Безопасность на рабочем месте 14–16