



Постановка задачи тепловизионного обследования



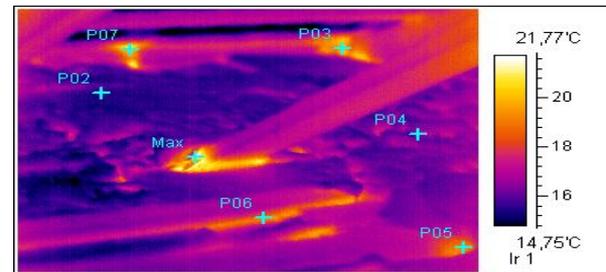
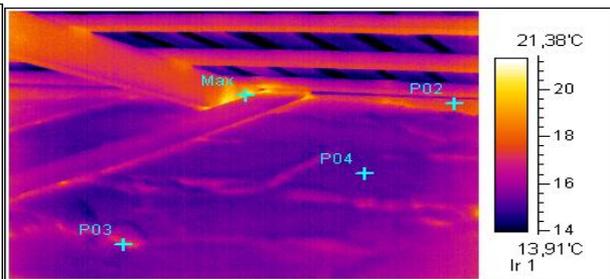
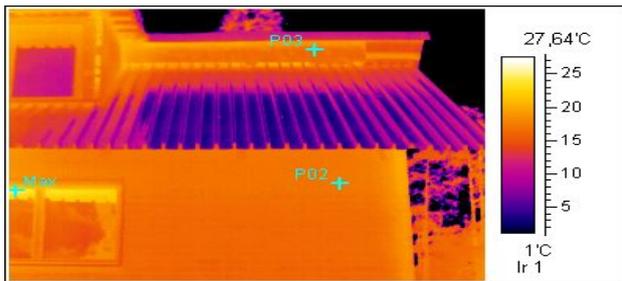
1.Введение

Термография вместе с анализом вибрации стала основным методом для диагностики дефектов в промышленности и является профилактической программой обслуживания. Большое преимущество этих методов в том, что **можно** проводить диагностику оборудования, **находящегося в работе**, т. е. процесс работы оборудования не прекращается и не нарушается.

Рационально проводить диагностику:

- оборудования (в периоды максимальных нагрузок, если возможно),
- зданий и сооружений (во время отопительных сезонов, при пассивной термографии).

При периодическом контроле обязателен учет изменений окружающих условий, которые могут меняться с момента последнего обследования!



2. Цикл обследования

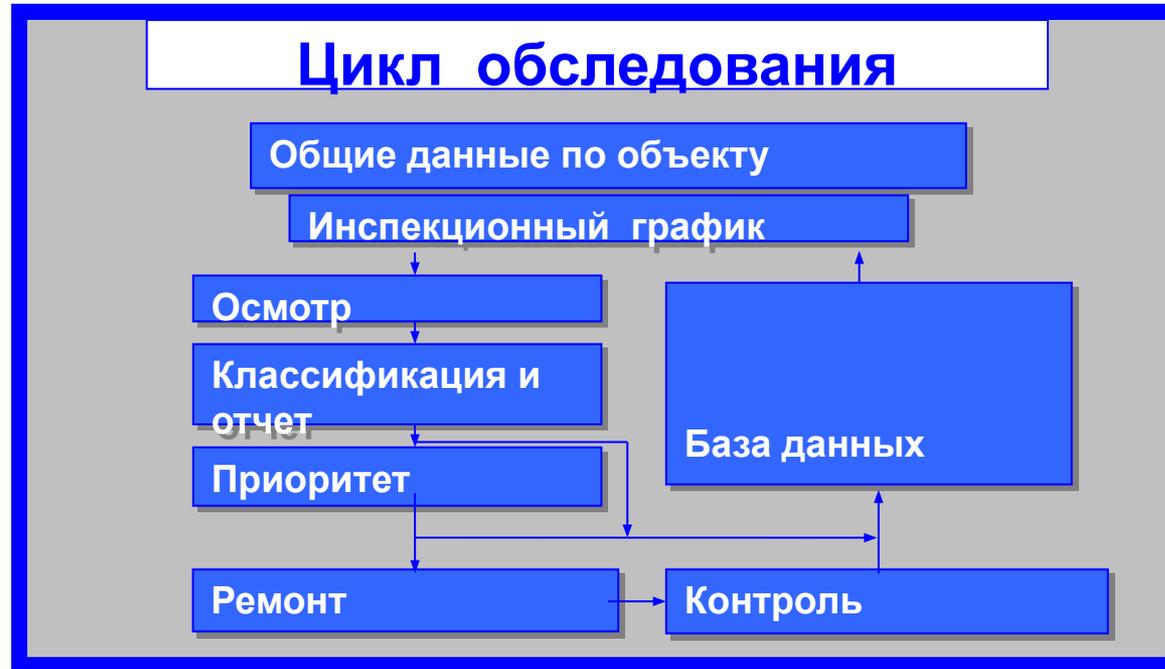
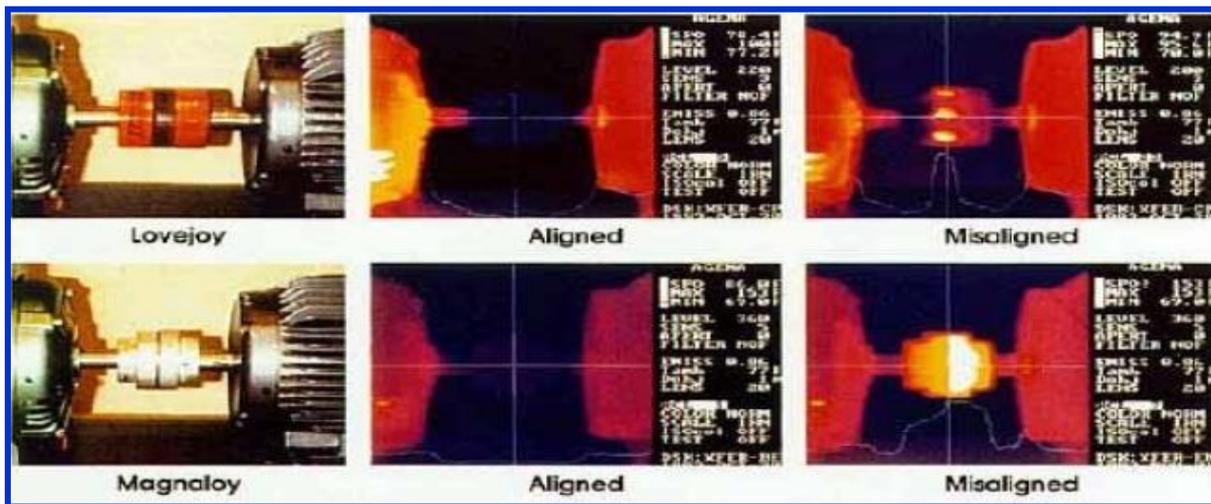


Рис 1. Блок-схема. Согласно стандарта IORS:2010 профилактическая программа термографического обследования является циклическим процессом.

2.1 Общие данные оборудования

Оборудование (объекты), которое планируется обследовать, имеет узлы возможного появления тепловых пятен. Они должны быть известны до начала обследования.

- 1) Электрическое оборудование (физические причины неправильного определения температуры в следствие увеличенного сопротивления или повышенной (пониженной нагрузки).
- 2) Электродвигатели (перегрев может зависеть от того, что двигатель берет на себя большую нагрузку и поэтому перегревается. Необходимо выяснить причину).
- 3) Здания и сооружения (ОК) (нагреваются и охлаждаются внешними источниками).



2.1 Общие данные оборудования

Экономия энергии

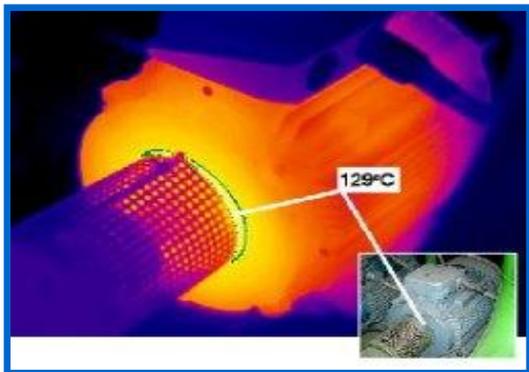
Для расчета экономии необходимо:

1. Измерить потребляемый ток до и после проведения ТО.
2. Найти разницу.
3. Взять данные по двигателю:
напряжение, коэффициент мощности.
4. Выяснить стоимость энергии для вашего предприятия.
5. Рассчитать экономию в kW по формуле:

$$\text{kW} = (\text{volts} \times \text{amps} \times \text{pf} \times 1,732) / 1000$$



РАСЧЕТ ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ



Привод центробежного насоса:

50 Гц, 380В, 60А, $\cos(j)=0.92$

Условия работы:

6000 часов в год (3,50 руб. за кВт/ч)

Потребляемый ток:

до проведения центровки - 54А

после устранения несоосности - 49А

Расчет мощности:

$$\text{кВт} = (\text{В} * \text{А} * \cos(j) * 1.732) / 1000$$

До центровки: $(380\text{В} * 54\text{А} * 0.92 * 1.732) / 1000 = 32.7 \text{ кВт}$

После центровки: $(380\text{В} * 49\text{А} * 0.92 * 1.732) / 1000 = 29.7 \text{ кВт}$

Экономия в год: $(32.7 - 29.7) * 3.50 * 6000 = 63\ 000 \text{ руб.}$

2.1 Общие данные оборудования

Возможно, что температура дефектных участков ниже, чем нормальных «здоровых».

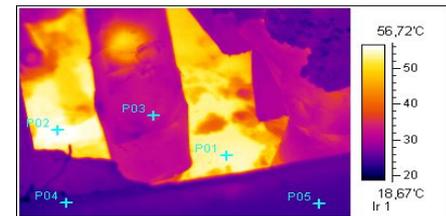
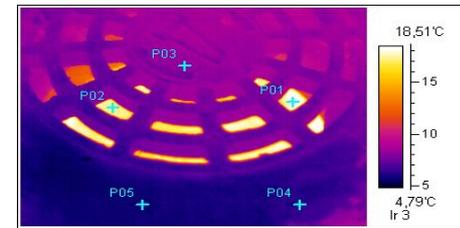
Общее правило, если есть температурное пятно – вероятен дефект. Величина температуры и нагрузка на обследуемом компоненте определяют на сколько серьезным является дефект, появиться ли он в других условиях или это внешние факторы.

Для правильной диагностики требуется подробная информация относительно температурного поведения объекта и его компонентов, то есть мы должны знать максимально о допустимых температурах компонентов, их устройстве и их месте в объекте обследования.

Например,

- кабели теряют свои свойства изоляции выше некоторой температуры, что увеличивает риск аварии.
- прерыватели при слишком высокой температуре могут сплавляться и их размыкание становится невозможным.

Чем больше диагност знает об объекте (оборудовании), тем выше качество осмотра. Но на практике чаще всего оператор ИК-камеры не знает всех нюансов, поэтому рекомендуется, чтобы при обследовании рядом с оператором находился ответственный за осматриваемый объект (оборудование).



2.2 Инспекционный график

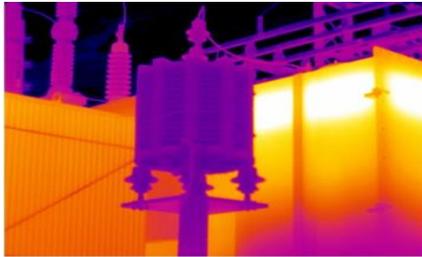
Диагностика объектов (оборудования) – циклический процесс.

Период между осмотрами зависит от типа оборудования, его критичности (важности), нагрузок и пр.

(Например, близость к морскому соленому воздуху, или к агрессивной окружающей среде завода является более критичным в плане коррозии. Объекты, находящиеся в этих условиях, требуют более частого контроля. То же самое и для оборудования, которое подвергается тяжелому и быстрому изменению нагрузок, например на «горячем стане» металлургического завода).

Критичность (важность) объектов – также весомый коэффициент для увеличения частоты осмотров. (Например, частота осмотров высоковольтных линий, как правило выше, чем линий низкого напряжения).

Окружающие условия и рабочее состояние оборудования также как и его критичность определяют периодичность диагностики. При составлении графика диагностики обязательно учитывается срок эксплуатации объекта (ресурс), количество и серьезность дефектов, определенных в предыдущих осмотрах.



2.3 Осмотр

Подготовленный оператор, используя современное программное обеспечение, за 5 минут может подготовить отчет о 20-30 дефектах, которые обнаружены при обследовании объекта при условии, что обследование было хорошо подготовлено и информация по обнаруженным дефектам системно фиксировалась и обрабатывалась.



Подготовка отчета должна включать выбор правильного типа шаблона из списка утвержденных.

Необходимо использовать дополнительное оборудование (например, амперметры), чтобы зафиксировать ток (нагрузку) в дефектных элементах. Необходимо применение анемометра, если вы собираетесь зафиксировать скорость ветра при обследовании объектов на улице.

Собираются общие параметры. Они фиксируются с использованием программного обеспечения VALTECH-Expert и в комментариях к отчету. Необходима информация об окружающих условиях или/и величины нагрузки для всей группы оборудования на обследуемом объекте.

Только после сбора общей информации оператор осматривает объект тепловизором (ИК-камерой).

Рис 3.
Термограмма с
тепловым пятном

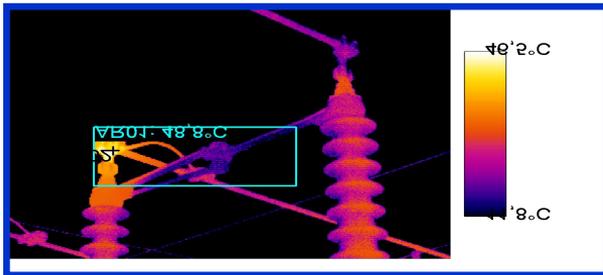


Рис 4. Фото того
же элемента

Пропустить тепловое пятно на обследуемом оборудовании практически невозможно. Указатель автоматически укажет самую горячую или холодную точку (spot-max-min). Когда дефект точно идентифицирован и термограмма подтверждает, что это не отраженное тепло и не естественное тепловое пятно, и все данные по объекту контроля учтены правильно, только тогда (отчет) о дефекте будет корректным.

В отчете необходимо указать:

- ФИО и должность диагноста.
- Название технологического участка, объекта исследования, его номер.
- Аппаратура, которой выполняется термография (дата калибровки).
- Коэффициент излучения.
- Комментарий (наличие внешних помех).
- Нормы (допуски) или РД, ГОСТ, СНиП и пр.
- Голосовой комментарий (если возможно).
- Фотография и все термограммы (снятые с одного места).
- Дополнительные параметры: t окр. среды, влажность и скорость ветра, пр.
- ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ, РЕКОМЕНДАЦИИ)

2.4 Классификация и отчет

Подготовка отчета традиционно занимает много времени и составляет определенную часть самого понятия ТЕПЛОВИЗИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ.

Классификация дефектов приобретает большое значение не только во время осмотра, который, имеет большую важность.

Кроме того, Вы имеете возможность нормализовать превышение температуры дефектного элемента к номинальной нагрузке и определенным окружающим температурным условиям.

Превышение температуры на 30°C - вероятно существенный дефект. Но если это относится к элементу находящемуся под 100% нагрузкой и к элементу под 50% нагрузкой, то очевидно, что второй элемент достигнет намного более высокой температуры превышения при увеличении нагрузки на нем до 100%.

Часто температура элементов указывается при нагрузке на них 100%. Это не всегда удобно. Целесообразно иметь температурный стандарт элементов оборудования. Стандарт упрощает работу по сравнению дефектов, их развитию и классификации. Окончательное решение принимается лицом с более широким техническим опытом и полномочиями руководителя группы диагностики.



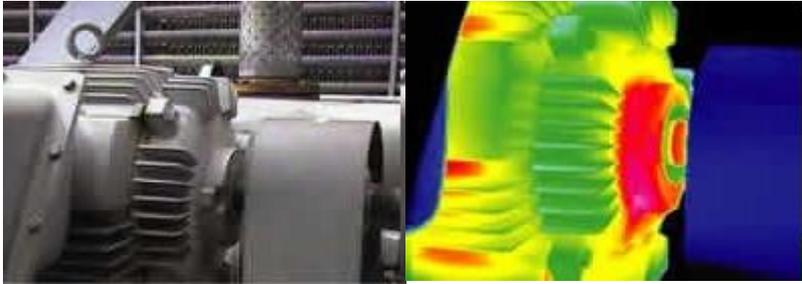
Рис 5. Результат диагностики легко понимается. Красное – опасно, зеленое - норма.

2.5 Приоритет

Принимая во внимание классификацию дефектов, ответственный за обслуживание оборудования устанавливает дефектам приоритет ремонта. Часто информация, собранная в период тепловизионного обследования оборудования, объединяется с информацией, собранной другими средствами диагностики, например, вибрационными, ультразвуковыми или в результате профилактического обслуживания.

Несмотря на то, что ИК-осмотр становится наиболее используемым и безопасным способом сбора информации относительно электрического оборудования или ОК, имеется много других источников информации обязательных для рассмотрения.

Определение **приоритета ремонта** не является задачей оператора ИК-камеры. Если во время осмотра или в период классификации дефекты оказываются критичными, то на это обязательно обращается внимание руководителя отдела диагностики. Ответственность за безотлагательность мер лежит на нем.



2.6 Ремонт

Устранение обнаруженных дефектов – самая важная функция во время профилактического обслуживания. Однако, чтобы гарантировать нормальный производственный процесс необходимо применять групповое обслуживание. Информация, полученная в результате ИК-обследования, может использоваться для увеличения эффективности ремонта, а так же для достижения иных целей (расчет рисков).

Стандарт «НО:2010» рекомендует для повышения достоверности и надежности проводить диагностику по группе оборудования.

Наиболее частый результат идентификации и классификации обнаруженных дефектов – рекомендация восстановить дефектный элемент немедленно, или как только это фактически возможно. Важно, когда ремонтный персонал знает физические принципы идентификации дефектов. Хотя случается и так, что дефект показывает высокую температуру и находится в критической ситуации, а ремонтный персонал ожидают узел (компонент), который подвергался серьезной коррозии. Иногда в соединении, которое находится в хорошем состоянии, может показать так же высокие температуры, как и дефектные компоненты (плохо прикрученный контакт). Эти ошибочные заключения могут подвергнуть сомнению достоверность и надежность ИК-обследования.

2.7 Контроль



Рис 6. Осмотр восстановленных элементов с помощью ИК-пирометра серии «ThermaLine» (BALTECH TL-0215C)

Восстановленный элемент должен контролироваться после ремонта как можно скорее. Не надо ждать следующий намеченный ИК-осмотр, чтобы включить в него осмотр восстановленных элементов. Статистика по эффекту ремонтов показывает, что до трети восстановленных элементов могут показывать перегревание вновь. То есть в части таких дефектов можно сказать, что они представляют потенциальный риск отказа.

Ожидание следующего намеченного ИК-обследования представляет ненужный риск для предприятия. Это можно избежать, используя ИК-термометр, серии BALTECH TL. Как только место дефекта становится известно, использование ИК-камеры для его контроля нецелесообразно, так как температура восстановленного элемента не строго регламентирована.

Помимо увеличения эффективности цикла обслуживания, измеренного в терминах более низкого риска для предприятия, немедленный контроль произведенных восстановительных работ дает и другие преимущества непосредственно для ремонтного персонала. Когда отремонтированный элемент все еще показывает перегревание после ремонта, вновь проведенный поиск причин и их анализ улучшает не только технологию последующих ремонтов, но позволяет в будущем выбирать лучших поставщиков комплектующих и запасных частей, а также обнаруживать недостатки проекта в объекте. Обслуживающий персонал видит эффект работы и может быстро учиться производить правильный и безошибочный ремонт.

Другая причина того, чтобы обеспечить обслуживающий персонал ИК-прибором – это то, что многие дефекты, обнаруженные в течении ИК-обзора имеют низкую себестоимость. Вместо их восстановления, которое потребует затрат, можно решить держать эти дефекты под контролем. Поэтому обслуживающий персонал должен иметь собственные простые ИК-средства контроля.

Эти наблюдения дают опыт, из которого можно сделать выводы, чтобы сократить количество запасных частей, выбирать лучших поставщиков или обучать по новому обслуживающий персонал.

3. Методика проведения тепловизионного обследования электрических установок

3.1 Системный подход

Необходимо выполнять тепловизионное обследование на подстанции и др. ЭУ, чтобы следовать при осмотре от устройства к устройству систематическим образом. Таким образом Вы сможете убедиться, что никакие подключения или оборудование не будут пропускаться.

Наружные подстанции обычно состоят из нескольких схем. При проведении ИК-осмотра рекомендуется проверять одну схему после другой. То есть начинать осмотр надо от подводящей линии, далее последовательно проходить изоляторы, разъединители, выключатели, трансформаторы и так далее до выходящей линии или кабеля.



Рис 7. Температурная шкала выбрана так, чтобы увидеть предохранитель.

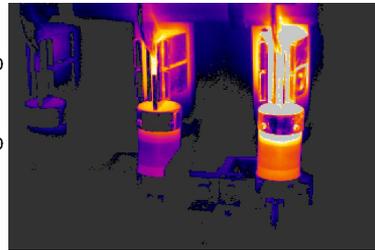


Рис 8. Здесь средний предохранитель виден лучше.
Предохранитель

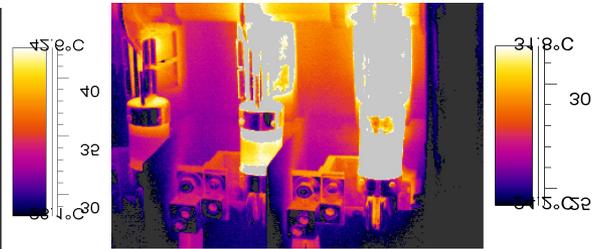


Рис 9. Шкала показывает левый и правый

3.3 Температурное измерение

Тепловизоры сегодня могут автоматически находить самую высокую температуру в изображении. Это показано на Рис 10. Максимальная температура в отмеченной квадратом области $62,2^{\circ}\text{C}$. Указатель показывает точное расположение пятна. Термограмма может быть легко сохранена в памяти тепловизора. К ней может быть добавлен голосовой комментарий. Сообщение будет находиться вместе с термограммой.

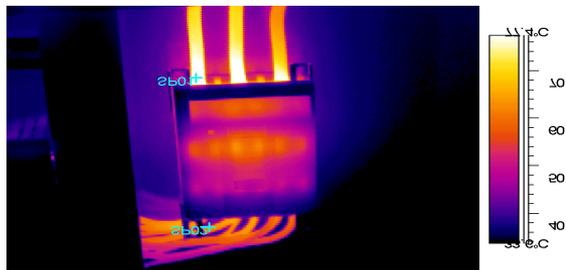


Рис 10. Указатель показывает точное расположение пятна.

Правильное температурное измерение зависит не только от возможностей программного обеспечения или самого тепловизора. Ошибка может появиться тогда, когда реальное место нагрева, например, подключение, скрыто от оператора. Могло быть так, что Вы измерили тепло, которое предалось от источника нагрева через расстояние другому элементу. Реальное место нагрева может быть скрыто от вас. Это видно на термограмме Рис 11.

Рис 11. Тепловизор не видит нагрева, поскольку он скрыт.

Когда нет точной уверенности в экспозиции, необходимо попытаться направлять тепловизор на обследуемый объект под разными углами и удостовериться, что горячая область замечена и определена в максимальном ее размере. То есть надо быть уверенным, что какой -то элемент или часть конструкции не скрывают самое горячее пятно. На представленной термограмме самое горячее пятно, определяемое камерой, с температурой 83°C – это выходы кабелей из блока. Рабочая температура кабелей под блоком 60°C . Однако, реально самое горячее место скрыто за блоком. Разница в 23°C – это температура мнимого дефекта, так как кабели над блоком имеют высокий нагрев от переносимого тепла. Этот тепловой источник находится ниже нагретых кабелей внутри блока и имеет существенно более высокую температуру.



Фокус съемки

Другая причина неверного определения температуры на обследуемом объекте – это плохо выбранный фокус съемки (рисунок 12).

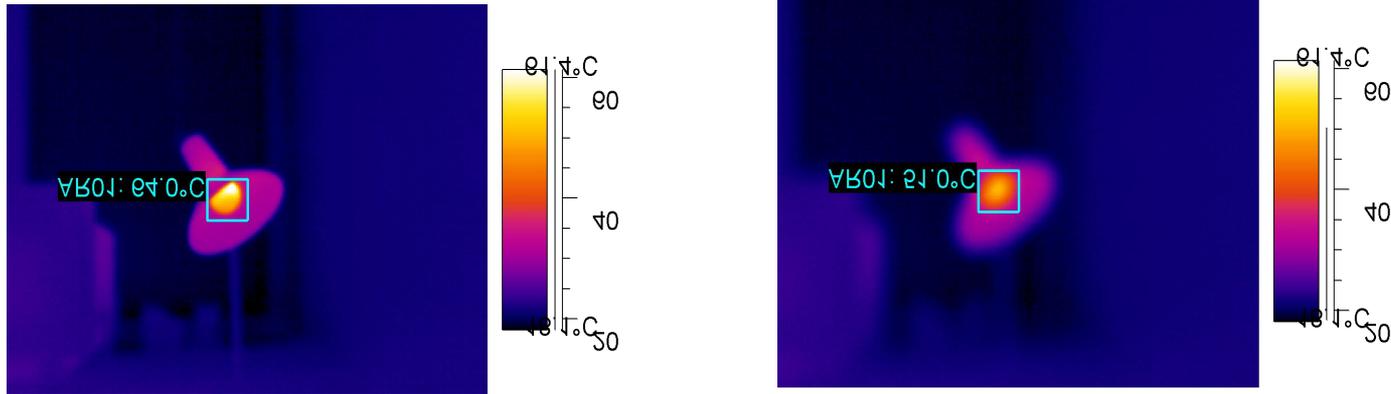
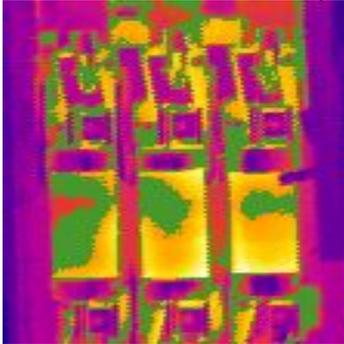


Рис 12. Разница температур в 13°C из-за неодинаковой фокусировки
На левом изображении лампа в фокусе. Температура в области 64°C как среднее число. На правом изображении лампа не в фокусе и температура 51°C определяется, как максимальная.

3.4 Сравнительное измерение

Для тепловизионного обследования электрических установок используется специальный метод, который достаточно простой и основан на сравнении однотипных объектов - так называемое измерение со ссылкой. Это означает, что вы сравниваете, например, три фазы друг с другом. Данный метод предполагает пошаговый осмотр однотипных элементов, чтобы оценить степень нагрева одного из них в сравнении с элементом, предположительно находящимся в нормальном состоянии.

Нормальным состоянием элемента считается такое, когда электрический ток проходящий в нем, создает рабочую температуру, выраженную на термограмме некоторым цветом (или серым тоном), который является, обычно, идентичным, например, для всех трех фаз при симметричной нагрузке. Незначительные изменения в цвете могут быть на фоне электрического проводника, например, в соединении двух различных материалов, при увеличении или уменьшении области (сечении) проводника, где имеется некоторое сопротивление электрическому току.



В Рис. 13 вы видите три плавких предохранителя, температура которых почти одинаковая. Изотерма указывает различие между фазами менее 2°C .

Отличие цветов – обычный результат, если фазы несут несимметричную нагрузку. Это различие в цветах не представляет собой перегревание, так как это не происходит в местном масштабе (т.е. в локальной области), а распространяется по всей фазе.

Рис 13. Предохранители с небольшими различиями по температуре

3.4 Сравнительное измерение

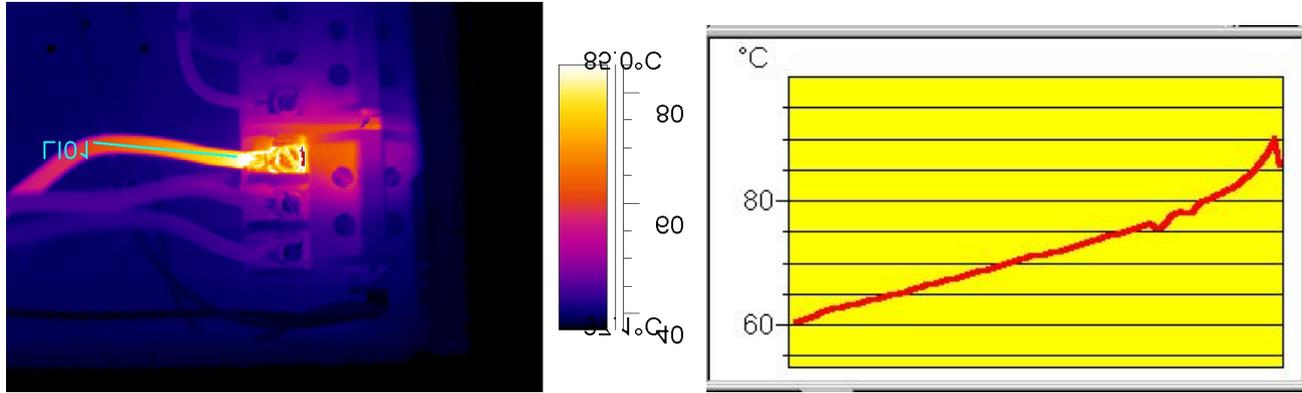


Рис 14. Тепловое пятно с температурным увеличением вдоль кабеля до теплого пятна

Реальный нагрев представлен тепловым пятном и с явным спадом температуры за пределами пятна. Рядом с термограммой расположен график профиля температуры вдоль линии (термопрофилограмма), где наглядно видно увеличение температуры примерно до 93°C в центре теплого пятна.

3.5 Нормальная рабочая температура

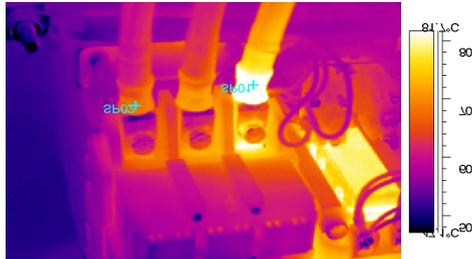
Температурное измерение методом термографии обычно дает абсолютную температуру объекта. Чтобы правильно оценить является ли компонент слишком горячим или нет, необходимо знать его рабочую температуру, которую он обычно имеет с учетом нагрузки на нем и температуры окружающей среды.

Поскольку прямое измерение дает абсолютную температуру, то необходимо учитывать то, что большинство компонентов имеет верхний предел их абсолютных температур. Также важно знать ожидаемую рабочую температуру при определенной нагрузке и температуре окружающей среды. Рассмотрим следующие определения:

- **Рабочая температура** - это абсолютная температура компонента. Зависит от текущей нагрузки и окружающей среды. Рабочая температура всегда выше, чем окружающая температура.

- **Температура превышения** (или Перегрев) - это температурное различие между компонентом с нормальной рабочей температурой и дефектным компонентом.

Т. о. температура превышения определяется, как разница между температурой «подозреваемого» компонента и температурой его «соседа», т.е. другой фазы или другого однотипного элемента с такой же электрической нагрузкой. Также не мало важно сравнить те же самые точки на различных фазах. Пример на рисунке 15.



Две левые фазы оцениваются как нормальные, принимая во внимание, что правая фаза показывает очень явную температуру превышения. Фактически, рабочая температура левой фазы 68°C , то есть весьма существенная. Дефектная фаза справа показывает температуру 86°C . Температура превышения - это дефект, требующий скорейшего устранения.

Рис 15. Три фазы, из которых две нормальные и третья явно перегретая.

3.6 Классификация дефектов

Как только дефектное соединение обнаружено, применение корректирующих мер должно быть неотложным, но может быть и отложено на какой-то срок. Для рекомендации большинства адекватных мер, должны быть оценены следующие критерии:

- нагрузка в период измерения;
- нагрузка постоянная или меняющаяся;
- местоположение дефектной части в электрической установке;
- ожидаемая нагрузка в будущем;
- температура превышения, измеренная непосредственно на дефектном пятне или косвенно через проводимую теплоту, вызванную некоторым дефектом внутри узла.

Температуры превышения, измеренные непосредственно на дефектных частях, обычно подразделяются на три (четыре) категории в приложении к 100% нагрузке:

- I < 5°C** Начинающийся перегрев. Это должно быть под контролем.
- II 5 – 30°C** Явный перегрев. Принять меры при первой возможности, а также проанализировать возможные нагрузочные режимы.
- III > 30°C** Сильный перегрев. Принять меры неотложно, но с учетом анализа нагрузочной ситуации.
- IV > 85°C** Аварийная ситуация (в зависимости от вида оборудования).

5. Различные типы тепловых аномалий в электрических установках

5.1 Отражение

Тепловизионная камера в зависимости от типа и рабочего диапазона длин волн может называться коротковолновой, то есть воспринимающей инфракрасное излучение в диапазоне $3,6 - 5,0 \mu\text{m}$ (SW диапазон) и длинноволновой камерой, воспринимающей излучение в диапазоне $8-14 \mu\text{m}$ (LW диапазон). Это предопределяет некоторое различие в методиках измерений главным образом при наружных осмотрах. Причина этому то, что солнце излучает не только в видимом спектре $0,4 - 0,7 \mu\text{m}$, но так же и в инфракрасном спектре приблизительно до $4 \mu\text{m}$. Поскольку камера чувствительна к солнечным отражениям, иногда называемым солнечными бликами, оператор камеры должен рассматривать и этот эффект. Важно не принять излучение солнечного отражения за излучение перегретого элемента установки.

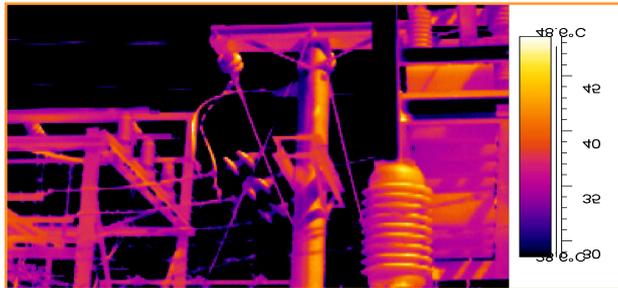


Рис 17. Термограмма, снятая
SW-камерой

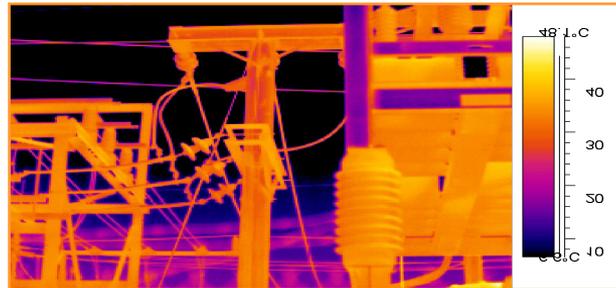


Рис 18. Термограмма, снятая
LW-камерой

5.1 Отражение

Термограммы в Рис. 17 и 18 показывают энергетические объекты снятые SW-камерой (слева) и LW-камерой (справа). Термограммы сделаны в солнечный день. На левой, от SW-камеры, видны 'тепловые' пятна, являющиеся только солнечным отражением. На термограмме справа, от LW-камеры, такие отражения не заметны.

Это различие между SW и LW не подразумевает, что использование SW оборудования при наружных обследованиях исключено только из-за солнечных бликов. Фактически большинство камер, используемых для этой цели во всем мире это SW. Однако, это вопрос принятой или доступной технологии изготовителей. Более важными являются другие факторы такие, как мобильность, легкость использования, современность интерфейса пользователя. Пока оператор знает, что он делает, это и является важным, как для SW- камер, так и для LW – камер. Небольшие различия в технологиях могут легко быть усвоены.

5.2 Солнечное нагревание

Поверхность компонента с высокой излучательной способностью, например, окрашенная сторона трансформатора, может в жаркий летний день быть нагретой солнцем до весьма значительных температур.

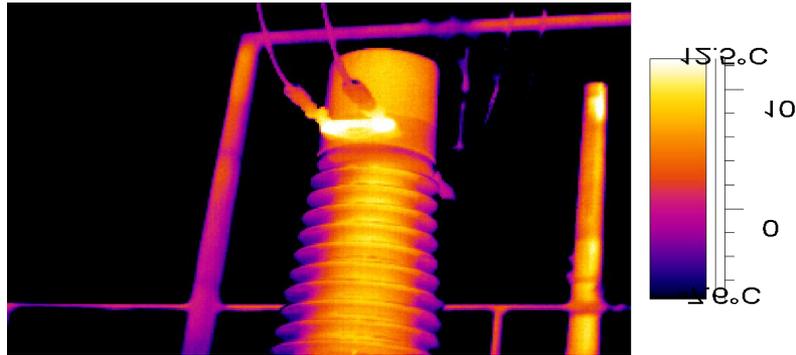


Рис 19. Солнечное нагревание изолятора и других компонентов, не носящих нагрузки

5.3 Индуктивное нагревание

Вихревые токи могут нагревать металлические детали до значительных температур. В случае образования больших токов могут возникнуть даже пожары. Этот тип нагревания происходит в магнитном материале вдоль токового пути, например, металлические пластины основания изоляторов. На показанной ниже термограмме видны стабилизирующие грузы, закрепленные на проводах высоковольтной линии. Эти металлические грузы сделаны из «слабо магнитного» материала, непроводящего электрический ток, но подвергающегося воздействию переменного магнитного поля. Это воздействие в конечном счете нагреет эти грузы. На изображении фиксируется перегрев меньше 5°C . Но бывают и другие значения температуры.

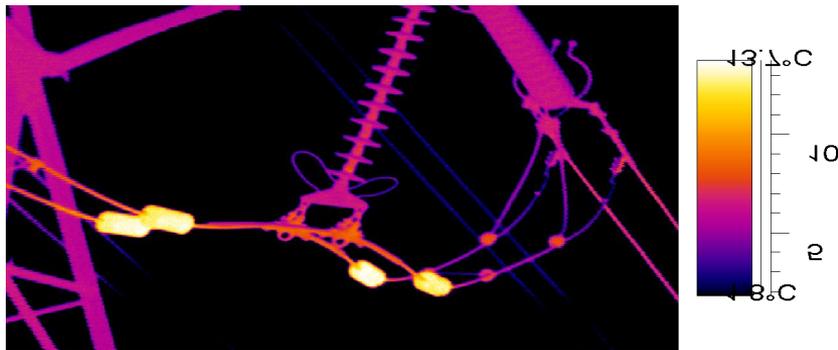


Рис 20. Стабилизирующие грузы, нагретые вихревыми токами

5.4 Изменение нагрузки

Рис 21.
Несимметричная нагрузка

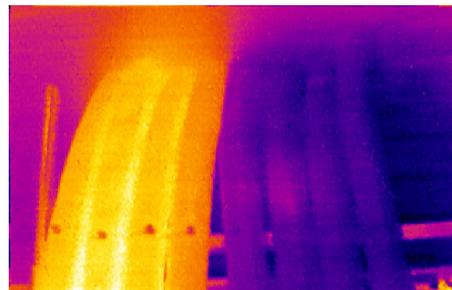
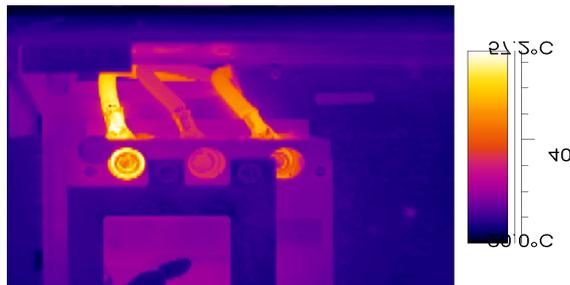


Рис 22. Кабели в
середине нагреваются
соседними кабелями

Стандартом в распределении нагрузки считаются 3-х фазные системы. При обследовании таких объектов просто сравниваются компоненты трех фаз непосредственно друг с другом, например: кабели, разъединители, изоляторы. Одинаковая нагрузка на фазах должна проявиться на контролируемых элементах температурой, примерно одинакового значения. Дефект может предполагаться в том случае, если температура элементов одной фазы значительно отличается от температуры элементов других двух фаз. Однако, Вы всегда должны быть уверены, что нагрузка на фазах действительно распределена равномерно. Это можно, в большинстве случаев, уточнить с помощью стационарных приборов или подсоединяемого амперметра (до 600 А).

На левой термограмме показаны три жилы кабеля, находящиеся на некотором расстоянии друг от друга. Их можно расценивать как термически изолированные. Видно, что средняя фаза более холодная. Если две другие фазы не дефектны, но перегреты, то это типичный пример несимметричной нагрузки. Распределение температуры вдоль жил кабеля очень равномерное и это указывает, что на одной фазе (левой) скорее не дефект, а какой-то активный потребитель электроэнергии.

На термограмме справа показаны две группы кабелей с очень различной нагрузкой. Фактически группа кабелей справа не несет положенной нагрузки. Те кабели, которые слева, несут значительную нагрузку и на 5^0 C более горячие, чем справа. Дефектов на этих термограммах нет.

5.5 Влияние охлаждающих условий

Другой пример: ряд кабелей связан в жгут. В этом случае при плохом охлаждении кабелей внутри жгута температура может повыситься очень значительно. Кабели, расположенные в верхней части болтовой колодки, идущие горизонтально и разнесенные на некоторое расстояние друг от друга не нагреты. В вертикальной же части прокладки кабели скреплены в плотный жгут и охлаждение их плохое. На термограмме видно, что в жгуте температура превышения составляет 5°C по отношению к холодной части кабелей.

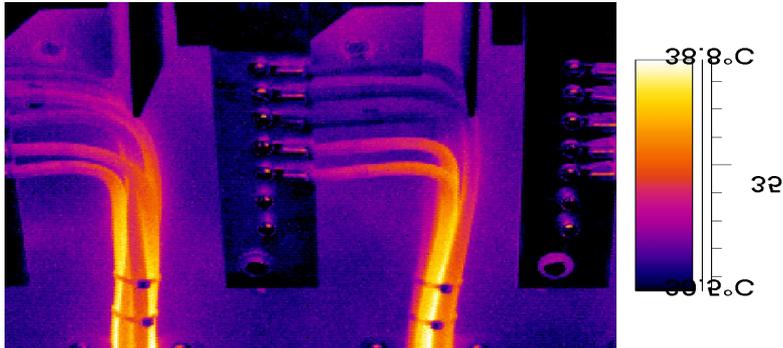


Рис 23. Кабели в середине теплее чем соседние кабели так как охлаждение хуже. При обследовании оборудования, находящегося на улице (т.е. подверженного влиянию окружающей среды) обязательно необходимо учитывать условия проведения измерения (зима-лето, снег-дождь, силу ветра, туман, влажность и пр.).

5.6 Изменение сопротивления

Перегрев элементов электрической установки может иметь много разных причин. Некоторые типичные из них описаны ниже. Так, например, слабое сжатие контакта может произойти уже при начальном монтаже установки.

Рис 24.
Незатянутый болт, который приведет к перегреву

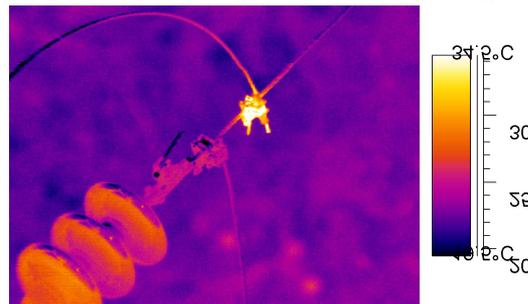
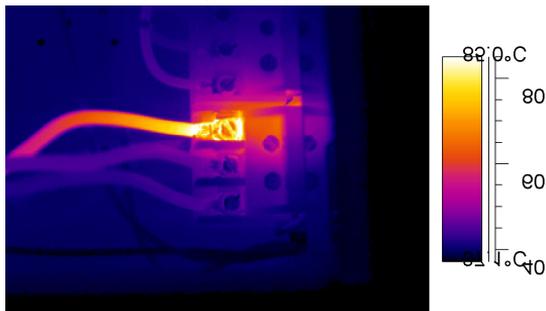


Рис 25. Вероятно плохое соединение, перегрев которого меньше чем ожидалось, из-за охлаждения ветром

На термограмме Рис 24 виден значительный перегрев провода около слабо затянутого болта. Так как плохой контакт имеет небольшие размеры, то перегрев локализуется только в районе головки болта, от которого тепло распространяется равномерно вдоль кабеля. Обратите внимание, более низкая излучательная способность болта создает впечатление, что он более холодный, чем изолированный провод. Очевидно, что изоляция провода имеет более высокую излучательную способность.

Изображение на термограмме Рис 25 показывает другой перегрев - на сей раз из-за плохого соединения методом скрутки проводов. Это наружное соединение и, следовательно, подвергается естественному охлаждению. Вероятно, что этот перегрев был бы выше, если это имело бы место в закрытом помещении.

5.7 Перегрев одного элемента в результате дефекта в другом элементе

Иногда температура превышения может регистрироваться и на исправном элементе. Причина может быть в следующем: например, электрическая мощность передается через два параллельных проводника. Один из них имеет увеличенное (ненормальное) сопротивление, а другой – нормальное сопротивление. В этом случае дефектный, с увеличенным сопротивлением, проводник несет меньшую нагрузку, а проводник без дефекта несет повышенную нагрузку и может значительно перегреваться. См. термограмму.

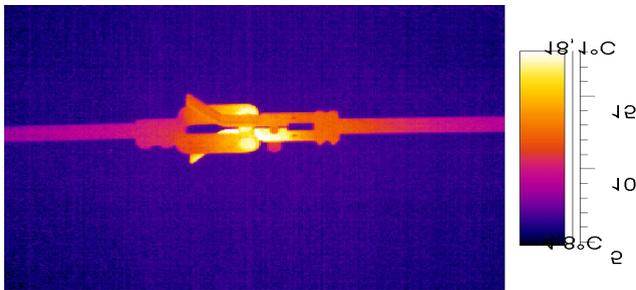


Рис 26. Неправильная часть показывает перегрев.

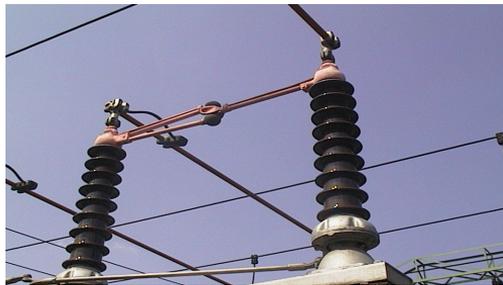


Рис 27. Фото подобного разъединителя как на Рис 26

Превышение температуры на разъединителе наиболее вероятно вызвано плохим контактом в верхнем пальце контактора. Нижний палец имеет нормальный контакт и через него проходит вся нагрузка, вызывая его перегрев. Термограмма и фотография показывают не один и тот же узел, но они очень подобны.

6. Факторы, требующие особого внимания при тепловизионном обследовании электрических установок

Во время тепловизионного обследования различных типов электрических установок такие факторы, как ветер, расстояние до объекта, дождь или снег часто влияют на результат измерений.

6.1. Ветер

Во время наружного осмотра охлаждающий эффект ветра должен быть принят во внимание. Температура превышения, измеренная при скорости ветра 5 м/сек, будет приблизительно вдвое ниже, чем измеренная при скорости ветра 1 м/сек. Температура превышения, измеренная при скорости ветра 8 м/сек., будет в 2,5 раза ниже, чем при ветре 1 м/сек. Этот корректирующий коэффициент был базовым для эмпирических измерений при скоростях ветра до 8 м/сек.

Однако бывают случаи, что приходится проводить осмотр, когда скорость ветра более 8 м/сек. Такие случаи довольно часто имеют место в горах на островах и т. д. Но важно знать, что найденные перегретые элементы при ветре более 8 м/сек., будут значительно более перегреты при слабом ветре. Эмпирический коэффициент корректировки перегрева может быть учтен следующим образом:

Скорость ветра, м/сек.	1	2	3	4	5	6	7	8
Корректирующий коэф.	1	1.36	1.64	1.86	2.06	2.23	2.40	2.54

6.2 Дождь и снег

Дождь и снег также производят охлаждающий эффект при обследовании электрического оборудования. Тепловизионное обследование может проводиться с удовлетворительными результатами в период слабого (редкого) снегопада с сухим снегом или при слабом дожде. Качество изображения при сильном снегопаде или дожде ухудшится и достоверность измерения будет невозможна. Главным образом это будет потому, что плотный снегопад, так же как и сильный дождь, непроницаемы для инфракрасного излучения. В таких условиях в большей степени будет измеряться температура снежинок или больших капель дождя.

6.3 Расстояние до объекта

Термограмма ниже и слева снята с вертолета на расстоянии 20 метров от дефектного подключения на линии. Расстояние при съемке было установлено неправильно, а именно 1 метр. Соответственно температура была измерена – $37,9^{\circ}\text{C}$. В последствии, при анализе термограммы расстояние было исправлено на 20 метров. На термограмме справа уже отображена реальная температура этого дефекта – $38,8^{\circ}\text{C}$. Различие не слишком большое, но в некоторых случаях это может быть и больше и критичнее. Так что установкой расстояния нельзя пренебрегать.

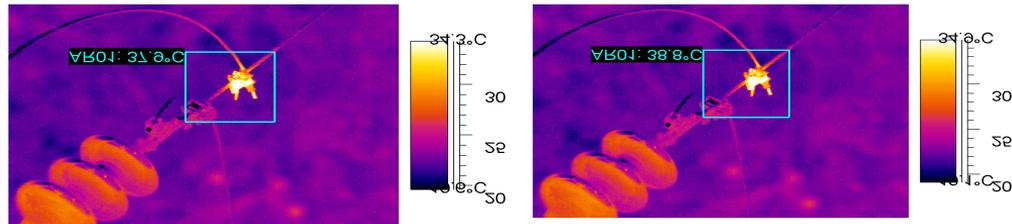


Рис 28. Температурная разница из-за неправильного расстояния в левой картинке

6.3 Расстояние до объекта

Изображения ниже показывают изменение измеряемой температуры черного тела с заданной температурой 85°C при последовательном увеличении расстояния от 1 м до 2 м, 3 м, 4 м, 5 м и 10 м.

Термограммы получены с использованием линзы 12° . Изменение температуры в этом примере отражено в таблице

Расстояние, метр	1	2	3	4	5	10
Температура, $^{\circ}\text{C}$	85,3	85,3	84,8	84,8	84,8	84,3



Рис 29. Измерение температур на разных расстояниях

При проведении этих опытов расстояние и температура измерялись достаточно точно. И как мы видим расхождение в температурах незначительно. Это объясняется тем, что объект достаточно большой для правильного измерения.

6.4 Величина объекта

Второй ряд термограмм показывает то же самое черное тело с температурой 85°C , но с линзой 24° . Значения температур в зависимости от расстояния получились следующие:

Расстояние, метр	1	2	3	4	5	10
Температура, $^{\circ}\text{C}$	84,2	83,7	83,3	83,3	83,4	78,4

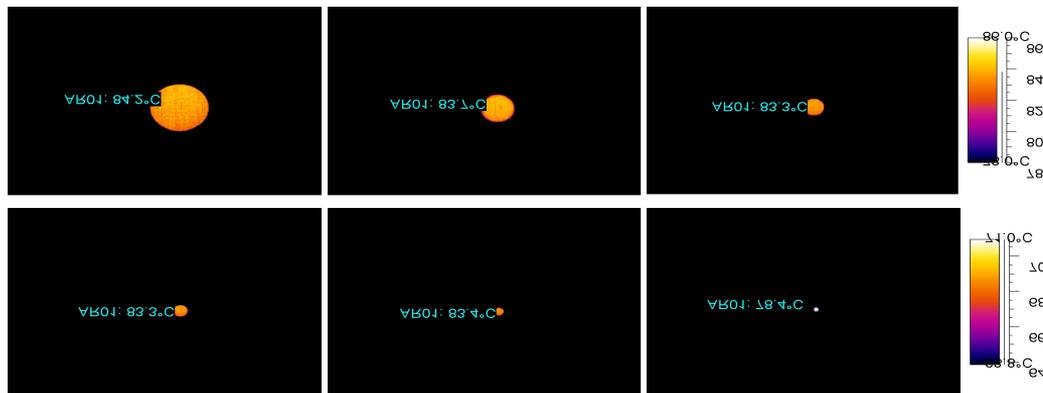


Рис 30. То же самое черное тело но линза 24°

Последнее значение, 78.4°C , является максимальной температурой, поскольку нет возможности разместить круг (диагностическую область) целиком на очень маленьком изображении черного тела. Отсюда делаем вывод, что невозможно измерить правильно значение температуры, если объект слишком мал. Пожалуйста, обратите внимание, что расстояние 10 метров было измерено точно (лазерной рулеткой MVR).

6.4 Величина объекта

Причина этого эффекта в том, что это изображение (на последней из шести термограмм) меньше минимального объектного размера, при котором возможно корректное измерение температуры. Этот наименьший размер легко найти в камерах серии BALTECH TR «ThermaRed». Изображение ниже показывает то, что Вы видите в видоискателе. Линии перекрестия в середине имеют разрыв, его хорошо видно на изображении справа. Для правильного измерения температуры изображение объекта должно быть больше, чем открытое пространство внутри перекрестия. В противном случае некоторая часть излучения от соседних элементов, попавших также в центр перекрестия, войдет в совокупное считывание значения температуры понизив или повысив его (в зависимости от температуры “соседей”). В выше упомянутом случае, где мы имели объект намного горячее, чем окружающая среда, измеренная температура оказалась слишком низкой.

Этот эффект объясняется возможностями оптики и геометрическими размерами датчика. Это типично для всех инфракрасных камер и это следует учитывать при тепловизионном обследовании.

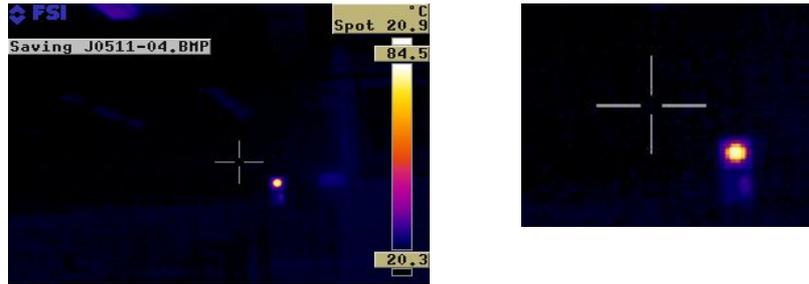


Рис 31. Объект должен быть больше пустого поля в курсоре (перекрестие).