

УДК 621.3

## ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ТЕПЛОВИЗИОННОМ КОНТРОЛЕ

**Дмитрий Сергеевич Невзоров**

студент

dnevzorov10@yandex.ru

**Софья Владимировна Бородкина**

студент

borodkina.sofi123@yandex.ru

**Андрей Юрьевич Астапов**

кандидат технических наук, доцент

astapow\_a@mail.ru

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

**Аннотация.** В представленной статье рассмотрены погрешности тепловизионного контроля и вызывающие их факторы.

**Ключевые слова:** тепловизионный контроль, излучение, тепловизор, погрешность.

Тепловизоры принимают ИК излучение и преобразуют в видимое на индикаторе. Другими словами происходит визуализация теплового поля объекта. Современные тепловизоры по конструкции аналогичны видеокамерам (рисунок 1).

Менее сложными являются пирометры, у которых либо цифровая, либо стрелочная индикация средней температуры поверхности.

Характеристики приборов:

- поле зрения – характеризуется плоскими углами по горизонтали и вертикали. Это углы, ограничивающие углы с пространства, попадающего в кадр. Отношение плоского угла по вертикали к плоскому углу по горизонтали определяет форму Растра.

Кроме общего поля зрения существует так называемое мгновенное поле зрения, которое определяется фокусным расстоянием объектива и линейными размерами чувствительной площадки приемника излучения.

- угловое разрешение – это предельный минимальный угол между двумя точечными излучателями, расположенными на фоне с постоянной температурой и отдельно воспроизводимыми в тепловизионном расположении;

- порог температурной чувствительности – это минимальная разность температур объекта и фона, вызывающая входной сигнал, пиковое значение которого равно среднеквадратичному значению шума;



*Рисунок 1 - Тепловизор TESTO 871.*

При проведении тепловизионного обследования электрооборудования существенное значение имеет выявление и устранение систематических и случайных погрешностей, оказывающих влияние на результаты измерений [2, 3].

*Систематические* погрешности заключены в конструкции измерительного прибора и зависят от его выбора в соответствии с требованиями к совершенству измерения (разрешающей способности, поля наблюдения и т.п.).

*Случайными* погрешностями, возникающими при проведении ИК-контроля, могут являться: воздействие солнечной радиации, излучательная способность и др.

Инфракрасный контроль желательно проводить при отсутствии солнца (в облачную погоду или ночью), предпочтительно перед восходом солнца, при минимальном воздействии ветра в период максимальных токовых нагрузок, лучше весной — для уточнения объема ремонтных работ и(или) осенью — в целях оценки состояния электрооборудования перед зимним максимумом нагрузки.

При проведении ИК-контроля должны учитываться следующие факторы:

- коэффициент излучения материала;
- солнечная радиация;
- скорость ветра;
- расстояние до объекта и угол наблюдения;
- значение токовой нагрузки;
- тепловое отражение и т.п.

Ниже рассмотрены виды погрешностей, возникающих при проведении ИК-контроля, и способы их устранения.

Солнечная радиация нагревает контролируемый объект и при наличии участков (узлов) с хорошей отражательной способностью создает впечатление о наличии высоких температур в местах измерения. Эти явления особенно проявляются при использовании ИК-приборов со спектральным диапазоном

2—5 мкм.

Для исключения влияния солнечной радиации рекомендуется осуществлять ПК-контроль в ночное время суток (предпочтительно после полуночи) или в облачную погоду. При острой необходимости измерение в электроустановках при солнечной погоде рекомендуется производить для каждого объекта поочередно из нескольких диаметрально противоположных точек.

Если ПК-контроль осуществляется на открытом воздухе, необходимо принимать во внимание возможность охлаждения ветром контролируемого объекта (контактного соединения). Так, превышение температуры, измеренное при скорости ветра 5 м/с будет примерно в 2 раза ниже, чем измеренное при скорости ветра 1 м/с. В диапазоне скоростей 1 — 7 м/с справедлива формула:

$$\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} = \left| \frac{V_1}{V_2} \right|^{0,448},$$

где  $\Delta T_1$  — превышение температуры при скорости ветра  $V_1$ ;  $\Delta T_2$  — то же при скорости ветра  $V_2$ .

Измерение при скорости ветра выше 8 м/с проводить не рекомендуется.

Следует отметить, что часто сила ветра при ИК-диагностике бывает переменной и поэтому указанный пересчет может привести к дополнительным погрешностям.

Температура токоведущего узла (контактного соединения) зависит от нагрузки и прямо пропорциональна квадрату тока, проходящего через контролируемый участок:

$$\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} = \left| \frac{I_1}{I_2} \right|^2,$$

где  $\Delta T_1$  — превышение температуры при токе  $I_1$ ;  $\Delta T_2$  — то же при токе  $I_2$ .

При необходимости пересчет температуры желательно проводить от высокой нагрузки к более низкой и при близких значениях токов (отличия на 20 — 30 %). Пересчет температуры с учетом токовой нагрузки и скорости ветра

может быть осуществлен с использованием специальной номограммы.

При переменной токовой нагрузке приходится считаться с тепловой инерцией контролируемого объекта. Так, тепловая постоянная времени для контактных узлов аппаратов составляет примерно 20 — 30 мин, поэтому при определении по амперметру тока нагрузки контролируемого присоединения следует учитывать кратковременные броски тока, связанные с коммутационными процессами или режимом работы потребителя. Тепловая постоянная для вентильных разрядников составляет примерно 6 — 8 ч, поэтому результаты измерения тепловизором только что поставленного под напряжение разрядника могут оказаться ошибочными.

Дождь, туман, мокрый снег в значительной степени охлаждают поверхность объекта, измеряемого с помощью ИК-прибора и в определенной мере рассеивают инфракрасное излучение каплями воды. Инфракрасный контроль допускается проводить при небольшом снегопаде с сухим снегом или легком морозящем дожде.

Магнитные поля. При работе с ИК-приборами вблизи шин генераторного напряжения, реакторов и вообще в электроустановках с большими рабочими токами приходится сталкиваться с проблемой защиты ИК-прибора от влияния магнитного поля. Последнее вызывает искажение картины теплового поля объекта на кинескопе тепловизора или нарушает работу радиационного пирометра. При наличии магнитных полей при проведении ИК-контроля необходимо учитывать следующие рекомендации:

а) если токоведущие шины находятся над головой оператора с тепловизором или пирометром или вблизи него, постараться, перемещаясь около контролируемого объекта, выбрать место положения с минимальным влиянием магнитного поля;

б) использовать объектив с меньшим углом наблюдения (например, 7 x 7°), что позволит осуществлять контроль за объектом с удаленного расстояния;

Влияние внешнего фона. При измерении инфракрасного излучения

объекта возможно присутствие трех составляющих:

собственное излучение объекта (ТО);

отражённое от объекта инфракрасное излучение, испускаемое окружающей средой (Тср);

излучение фона, на котором осуществляется контроль объекта (Тф).

Погрешность, которая вносится в результате измерения, может быть весьма значительна и зависит от соотношения паразитного теплового излучения и температуры объекта, спектрального диапазона, коэффициентов излучения, угла обзора и других факторов. Так, эксперименты с использованием пирометра с широким углом визирования 1:30 для контроля контактных соединений, находящихся на различных расстояниях, показали, что в результате влияния окружающей среды существенно возрастает погрешность измерения [4].

Влияние паразитного излучения весьма значительно, если измерение температуры объекта осуществляется, например, на фоне неба, температура которого в зависимости от его состояния (облачность, ясно) может достигать -50 — -70 °С.

### **Список литературы:**

1. Нестерук Д.А., Тепловой контроль и диагностика. Учебное пособие для подготовки специалистов I, II, III уровня. Томск:, 2007. 104 с.
2. Вавилов В.П. Тепловизоры и их применения М.: Интелуниверсал. 2002. 88с.
3. РД 153-34.0-20.363-99. Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ // ГОСТы Нормативы. – URL: <https://gostrf.com/normadata/1/4294817/4294817264.htm>
4. Инструкция по тепловизионному контролю электрооборудования электростанции - Приложения: оценка теплового состояния, погрешности //

Энергетика. – URL: <https://forca.ru/instrukcii/raznoe/instrukciya-po-teplovizionnomu-kontrolyu-elektrooborudovaniya-elektrostantsii-8.html>

**UDC 621.3**

## **ERRORS IN THERMAL IMAGING CONTROL**

**Dmitry S. Nevzorov**

student

dnevzorov10@yandex.ru

**Sofya V. Borodkina**

student

borodkina.sofi123@yandex.ru

**Andrey Yu. Astapov**

candidate of technical sciences, associate professor

astapow\_a@mail.ru

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

**Annotation.** The article presents the errors of thermal imaging control and the factors causing them.

**Keywords:** thermal imaging control, radiation, thermal imager, error.

Статья поступила в редакцию 11.11.2024; одобрена после рецензирования 20.12.2024; принята к публикации 25.12.2024.

The article was submitted 11.11.2024; approved after reviewing 20.12.2024; accepted for publication 25.12.2024.