Корректировка норм тепловизионного контроля оборудования

Арбузов Р.С., Овсянников А.Г.

ВВЕДЕНИЕ

В электро- и радиотехнике по самой грубой градации существует два типа дефектов:

- возник контакт там, где его не должно быть (в изолированных цепях);
- отсутствует контакт там, где он должен быть (в замкнутых цепях).

В силовом энергетическом оборудовании такие дефекты, в большинстве случаев, немедленно приводят к технологическим отказам. Однако начальные стадии развития дефектов, иногда длящихся годами, проявляются в виде локальных нагревов. Поэтому инфракрасный контроль является одним из наиболее эффективных методов диагностирования электрооборудования. Одно из главных его преимуществ, дистанционное определение температуры, обеспечивает возможность контролировать оборудование в процессе его обычной работы, т.е. без отключения и на безопасном расстоянии. Вместе с тем, метод основан на измерении так называемой «излучательной» температуры и потому является косвенным. Более того, ряд факторов могут значительно исказить результаты измерений даже этой температуры. Наконец, самый главный этап, оценка опасности обнаруженного дефекта по нормированным изменениям температуры, требует тщательного обоснования и постоянного совершенствования по мере появления новых экспериментальных данных и накопления опыта внедрения.

В настоящей работе, на основе 7 –летнего опыта обследований оборудования подстанций и линий электропередачи, а также анализа некоторых экспериментальных данных предлагаются дополнения и изменения в Приложение 3 руководящего документа «Объем и нормы испытаний электрооборудования» РД 34.45-51.300-97.

В докладе приведены замечания и предложения по изменению текста РД с краткими пояснениями. Упомянуты только те пункты РД, которые требовали, по нашему мнению, корректировки. К неупомянутым разделам замечаний не было.

Некоторые примеры и обосновывающие материалы к замечаниям и предложениям вынесены в приложения к данному докладу, оставшиеся за рамками данного материала ввиду большого объема.

1. Замечания и предложения по изменению отдельных пунктов Приложения 3 РД 34.45-51.300-97

По пункту 1.1

1. Нам известны случаи, когда организации приобретали тепловизоры, предназначенные только для наблюдения изображения в инфракрасном спектре без возможности измерений излучательной температуры. Поэтому в первый абзац изложить в следующей редакции. «При тепловизионном контроле электрооборудования и ВЛ следует применять тепловизоры, **снабженные радиометрическим каналом измерения температуры** с разрешающей способностью не хуже 0,1 ^{0}С, предпочтительно со спектральным диапазоном 8 – 12 μм».
2. Результаты измерений сильно зависят от правильного выбора коэффициента излучательной способности контролируемого объекта. Поэтому предлагается в конце пункта ввести еще один абзац в следующей редакции: «**При работе с тепловизором и пирометрическим прибором должно обращаться внимание на правильность выбора коэффициента излучательной способности контролируемого объекта**».

По пункту 1.4

Замечание касается рекомендаций правила пересчета температуры КС с использованием квадратичной зависимости от величины тока. В большинстве практических случаев измерения превышения температуры проводятся при токах меньше номинальных. Понятно, что, при линейности вольтамперной характеристики КС, выделяемая в нем мощность пропорциональна квадрату тока.

Однако при этом возрастают потери тепла на излучение и конвекцию:

$$mc\frac{d\theta}{dt} = Q_J + Q_S - Q_C - Q_R \qquad (1)$$

где: θ, c, m - средняя температура, удельная теплоемкость и погонная масса проводника (КС); t - время; Q_J и Q_S – мощности нагрева от протекающего тока (Джоулевы потери) и солнечного излучения; Q_C и Q_R – мощности потерь тепла, связанные с конвекцией и излучением.

В соответствии с (1) зависимость от тока должна отличаться от рекомендуемой к пересчету. Согласно известных из литературы (часть будет цитирована ниже) и собственных данных, полученных в стендовых

испытаниях, пересчет должен проводиться по линейной зависимости. Поэтому формулу для пересчета следует дать в следующей редакции:

$$«\frac{\Delta T_{ном}}{\Delta T_{раб}} = \frac{I_{ном}}{I_{раб}}»$$

<u>По пункту 1.5</u>

Исходя из тех же соображений, предлагаем формулу пересчета заменить на следующую:

$$«\frac{\Delta T_{0,5}}{\Delta T_{раб}} = \frac{0,5 I_{ном}}{I_{раб}}»$$

<u>По пункту 1.8</u>

Зарубежный опыт говорит о том, что дефектные прессованные контактные соединения в большинстве случаев не могут быть выявлены тепловизионным методом [1,2]. В приложении 1 приведено соответствующее обоснование.

Исходя из сказанного в последнем абзаце, касающемся ВЛ предлагается ввести следующее ограничение: «Воздушные линии электропередачи – проверка всех видов контактных соединений проводов, **за исключением прессованных**».

<u>По пункту 5.1</u>

В 80 % случаев тепловизионный контроль измерительных трансформаторов тока, установленных на подстанциях показывает, что температура в отдельных частях контролируемой фазы отличается от соседних фаз на 0,3 ºС, а иногда и более, хотя испытания другими методами не подтверждают наличия дефектов оборудования. Некоторые примеры приведены в Приложении 2 к данному заключению.

Поэтому предлагается изменить норму и дать п. 5.1 в следующей редакции: «Измеряются температуры нагрева поверхностей фарфоровых покрышек трансформаторов тока (ТТ), которые не должны иметь резкого изменения температуры или локальных нагревов по высоте по сравнению с элементами ТТ других фаз. Значение температуры, измеренные в аналогичных зонах покрышек трех фаз, не должны отличаться между собой более чем на **1** ºС.»

По пункту 4

Первое предложение противоречит п.1.8 по периодичности проведения тепловизионного контроля. Считаем, что периодичность контроля силовых трансформаторов, автотрансформаторов и шунтирующих реакторов должна соответствовать п.1.8, т.е. для класса напряжения 110-220 кВ – 1 раз в 2 года, 330 кВ и выше – ежегодно.

По пункту 6

1. Один из типичных дефектов в ТН по нашему опыту, снижение уровня масла в фарфоровой покрышке ТН или его модуля. Этот вид дефекта проявляется в виде перепада температуры по высоте конструкции. Пример такого проявления этого дефекта приведен в приложении 2. Поэтому первое предложение п.6 предлагается дополнить и изложить в следующей редакции: «Измеряются температуры нагрева поверхностей фарфоровых покрышек. **Они не должны иметь резкого изменения температуры или локальных нагревов по высоте по сравнению с элементами ТН других фаз».**
2. Как правило, перегревы до одного градуса не связаны с появлением опасных дефектов. По нашему опыту перегревы вызваны либо смещениями внутренней конструкции относительно оси фарфоровой покрышки, либо случайными факторами. В приложении 2 дан приведен пример ТН с ассиметричным расположение внутренней конструкции, успешно работающий длительный период. Поэтому предлагается изменить браковочный критерий и дать второе предложение п.6 в следующей редакции: «Значения температуры, измеренные в одинаковых зонах покрышек трех фаз, не должны отличаться между собой более чем на **1** ºС».

По пункту 8

По нашему опыту при тепловизионном контроле разъединителей и отделителей выявляются два типа дефектов опорно-стержневых изоляторов: внутреннее увлажнение фарфора (как правило, это заводской дефект) и продольные трещины. Поэтому предлагается ввести в данный раздел п. 8.4 в следующей редакции.

«8.4. Опорные изоляторы разъединителей и отделителей

По высоте фарфора не должно быть локальных нагревов относительно аналогичных элементов конструкции.

Тепловизионный контроль изоляторов рекомендуется проводить при повышенной влажности воздуха».

По пункту 12.4

Конденсаторы связи выполнены с большим запасом по электрической прочности. Поэтому вполне справедливо в п. 12.4 рекомендуется производить внеочередной контроль состояния их изоляции при обнаружении перегревов. Вместе с тем, не дается критерий, по которому надо производить это действие. Наш опыт говорит о том, что перегревы до двух градусов не представляют опасности, и конденсатор может эксплуатироваться до очередной плановой проверки состояния изоляции. Поэтому предлагается изложить данный пункт в следующей редакции.

«Поверхности фарфоровых покрышек конденсаторов связи не должны иметь резкого изменения температуры или локальных нагревов по высоте по сравнению с аналогичными элементами других фаз. Значение температуры, измеренные в одинаковых зонах покрышек трех фаз, не должны отличаться между собой более чем на 2ºС»

По пункту 13.1

Исходя из опыта контроля, считаем необходимым уточнить критерии исправного состояния и вести признаки типичных дефектов (см. приложение 3). Предлагается следующая редакция пункта 13.1.

«Признаки исправного состояния вентильного разрядника с шунтирующими резисторами при тепловизионном контроле:

- верхние элементы в месте расположения шунтирующих резисторов нагреты одинаково во всех фазах;
- **температуры наиболее нагретых точек соседних элементов одной фазы различаются не более чем на 0,5 °С;**
- **при большей разнице температур наиболее нагретых точек соседних элементов одной фазы она признается дефектной;**
- **для определения вида дефекта сравниваются температуры нагрева соответствующих элементов с другими двумя фазами разрядника. Если элементы забракованной фазы нагреты сильнее соответствующих элементов других фаз разрядника, то элемент с меньшей температурой в дефектной фазе бракуется по признаку «закорачивание» искровых промежутков. Если наблюдается обратная картина, то элемент с меньшей температурой в**

дефектной фазе бракуется по признаку «обрыв» шунтирующего сопротивления.

При указании отсутствия дефектов вентильных разрядников по результатам тепловизионного контроля, проведение испытаний элементов вентильного разрядника другими методами является необязательным».

По пункту 19

1. Общий раздел (преамбулу) целесообразно дополнить следующими рекомендациями.

«При тепловизионном контроле ВЛ следует применять тепловизоры со спектральным диапазоном 8 – 12 μм, имеющие частоту кадров не менее 25 1/с и обеспечивающие запись информации непосредственно на жесткий диск компьютера.

Рекомендуются следующие условия проведения контроля:

- **нагрузка ВЛ должна быть не менее 60 % от номинальной;**
- **прохладная пасмурная погода без осадков;**
- **расстояние до проводов ВЛ не более 50 метров;**
- **скорость полета не более 70 км/час;**
- **диапазон температур тепловизора настроен так, чтобы нижняя граница была на несколько градусов ниже температуры окружающей среды, а верхняя граница порядка 50 градусов.**

2. Из п. 19.2 в соответствии с замечанием по п.1.8 следует убрать **контактные соединения, выполненные обжатием**.

3. Нами установлено, что на некоторых опорах портального типа ВЛ 500 кВ (возможно и на других ВЛ) в местах крепления траверсы со стойками обнаруживается перегрев на 3-6 градусов (см. приложение 3). Нагрев возникает от тока в теле опоры, индуктированного магнитным полем средней фазы. Разумеется, сам по себе нагрев не опасен. Но он возникает при высоких переходных сопротивлениях узлов крепления, которое может быть следствием ослабления усилий или коррозии. Поэтому, по нашему мнению, следует ввести дополнительный пункт в следующей редакции:

«19.4. Опоры портального типа

Проверяется отсутствие нагрева в местах соединения стоек опоры с траверсой».

Общее

Предлагаем также ввести ограничения на окружающие условия, например, в следующей редакции.

«20. Метеорологические условия при проведении тепловизионного контроля

- **При использовании тепловизоров с чувствительностью на длинах волн 3-5 мкм для уменьшения помех обследование открытых распределительных устройств необходимо выполнять после окончания навигационных суток. При использовании тепловизоров с чувствительностью на длинах волн 7-14 мкм это требование является желательным.**
- **Тепловизионное обследование необходимо проводить при отсутствии осадков (дождь, снег, град), а также при отсутствии снега, изморози, влаги на контролируемых поверхностях.**
- **Сильный ветер способен существенно увеличивать теплоотдачу с поверхностей и нивелировать температурные аномалии, в особенности для узлов ОРУ. Обследование следует проводить при скорости ветра не более 3 м/с. При большей скорости ветра погрешности измеренных температур будут более 100 %.**
- **Тепловизионое обследование ВЛ рекомендуется проводить в весенне–осенний период. При этом контрастность изображения контролируемого оборудования относительно земли будет выше».**