## Критерии дефектации элементов ограничителей перенапряжения при инфракрасной диагностике.

Инженер А.А.Таланов (Красноярская ГЭС)

Надежность современного производства и распределения электроэнергии определяется в первую очередь безотказностью работы оборудования электроустановок. Аварийные повреждения, часто сопровождающиеся разрушением оборудования, приводят к значительному экономическому ущербу из-за нарушения электроснабжения потребителей и высокой стоимости восстановительных работ. В этой связи, как никогда повышаются требования к эффективности работ по выявлению аварийно опасных участков электроустановок.

Необходимая степень надежности оборудования в процессе его эксплуатации поддерживается системой технического обслуживания и ремонта. Необходимость совершенствования системы и методов эксплуатационного контроля оборудования определяется их недостаточной эффективностью и зачастую потребностью вывода оборудования из работы, поэтому наряду с традиционными методами диагностики получила обширное распространение инфракрасная (ИК) диагностика энергооборудования под рабочим напряжением с использованием тепловизоров.

ИК или тепловизионное обследование кардинально экономит время и стоимость ремонтов электрооборудования. Его можно проводить, не отключая оборудование, осуществлять бесконтактно, максимально безопасно для персонала. Это значительно облегчает обнаружение дефектов и снижает затраты на их устранение.

В целях обеспечения надежного функционирования электрооборудования, на Красноярской ГЭС вот уже 10 лет проводится периодический тепловизионный контроль всего доступного для наблюдения как низковольтного, так и высоковольтного (220,500 кВ) оборудования станции.

Контроль осуществляется группой технической диагностики [1] с использованием инфракрасной камеры "THERMACAM PM-250" (INFRAMETRICS США) и программного обеспечения для обработки термограмм - «ThermaCAM Reporter 7.0» (FLIR SYSTEM Швеция). Чувствительность тепловизора и качество теплограмм позволяет локализовать перегревы до  $0.1^{\circ}$ С, что способствует выявлению и предотвращению развития аварийных дефектов, устраняя неисправности на ранней стадии возникновения.

Периодичность тепловизионного контроля и оценка теплового состояния оборудования, проводятся в соответствии с [2].

Поскольку инфракрасная диагностика энергетического оборудования сейчас находится в стадии бурного развития, а информации в [2] для принятия решения по отбраковке дефектных элементов явно не достаточно, персоналу группы приходится, по мере накопления опыта, разрабатывать собственные методики по проведению измерений, оценке опасности перегревов и периодичности обследования каждого типа оборудования. Этому способствуют исследования большого числа однотипных элементов среди электрооборудования КГЭС.

Так, во время проведения очередных обследований элементов ограничителей перенапряжения (ОПН) персоналом группы был обнаружен дефектный верхний элемент фазы «А» ОПН-2ГТ рис. 1. Проведение высоковольтных испытаний подтвердили наличие дефекта – ток утечки на этом элементе был в 10 раз выше остальных, а сопротивление изоляции в 1000 раз меньше. До обнаружения дефекта этот элемент проработал около года и по результатам тепловизионного контроля и ВВИ был заменен по гарантии заводом-изготовителем. Как видно на рис. 1, этот скрытый дефект проявляется в неравномерном распределении температуры по поверхности фарфоровой покрышки элемента ОПН.

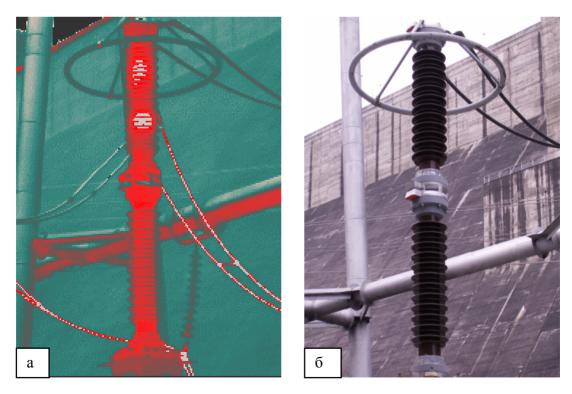


Рис.1. a). термограмма ОПН с дефектным верхним элементом, б). фотоидентификация.

По поводу ограничителей перенапряжения в [2] буквально сказано следующее «...оценка состояния элементов ограничителей осуществляется путем пофазного сравнения измеренных температур...». Поскольку в нашем случае имеет место уже развитый, возможно аварийный дефект, обнаружение его не составляет большого труда. На рис. 2 четко видно отличие фазы «А» верхнего элемента как по максимальной (Тмакс), так и по средней (Тср) температуре. Там же видны, хоть и не такие значительные отличия друг от друга заведомо исправных элементов. Нужно отметить, что и Тмакс, и Тср, и (Тмакс-Тмин) зависят от температуры окружающей среды, что делает невозможным осуществление мониторинга и построение тренда с целью обнаружения момента появления дефекта.

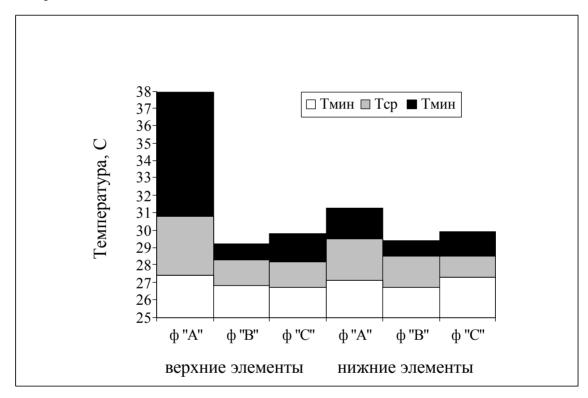


Рис.2. Измеренная температура элементов ОПН.

Для обнаружения подобных дефектов на начальной стадии их возникновения, автор попытался найти диагностический параметр (критерий), который не зависел бы от условий проведения обследований и надежно характеризовал дефектность элемента ОПН при статистически значимых отклонениях его от допустимого порогового значения.

Тщательное исследование температурных полей дефектного и исправных элементов позволило определить критерий отбраковки (дефектации) элементов по их состоянию.

Применяемое программное обеспечение даёт возможность построить гистограмму распределения температуры в выбранной области и показать термопрофиль вдоль выбранной линии (рис. 3).

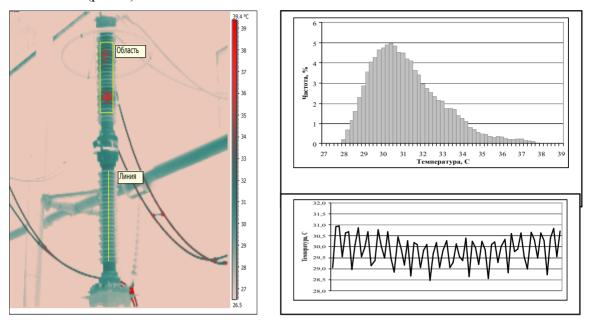


Рис.3. а). выбор области и линии на термограмме, б). гистограмма распределения температуры в области, в). термопрофиль вдоль линии.

На графике термопрофиля заведомо исправного элемента виден периодический разброс температуры (Тф), возникающий из-за ребристости фарфоровой покрышки и связанный с изменением углов ИК-излучения . На гистограмме наблюдается явно выраженная правосторонняя асимметрия плотности распределения, связанная с наличием «горячих» точек, появившихся из-за дефекта. На основании этого выведем формулу для определения коэффициента асимметрии. Понадобятся следующие измеренные значения:

- размах выборки с учетом разброса Тф:

$$Tp = Tмакс - Tмин - Tф.$$

По правилу 3-х сигм размах характеризует среднеквадратичное отклонение как  $S = Tp \ / \ 6$ ;

- оценка центра полуразмаха: Tцпр =  $(T_{MAKC} + T_{MUH}) / 2$ ;
- среднее значение выборки Тср.

Коэффициент асимметрии определим как:

$$Ka = Kд(Tp) * (Тцпр - Tcp) / S,$$
 (1)

- здесь Kд(Tp) — коэффициент достоверности, «защищающий» результат отношения для малых Tp, npu Tp > 2°C, он page 1, npu Tp < 2°C:

$$K_{\pi} = (T_{\pi} / 2)^2$$
.

Использование в качестве критерия дефектации, рассчитанного по формуле (1) коэффициента асимметрии Ка, позволяет осуществлять мониторинг при разных внешних условиях, он практически не зависит от температуры среды, прозрачности атмосферы и коэффициента отражения.

На рис. 4 показаны результаты расчетов для 6-ти элементов ОПН:

1-ый замер обнаружен дефектный элемент при Токр=20°С;

2-ой замер – повторный замер при Токр=30°С;

3-ий замер – после замены дефектного элемента.

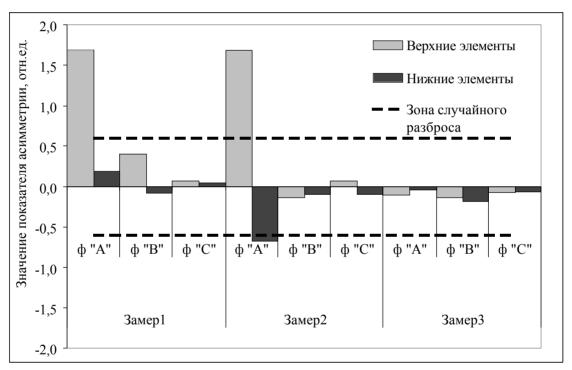


Рис.4. Результаты расчетов показателя асимметрии.

Видно, что при 1-ом и 2-ом замерах Ка остаётся постоянным, несмотря на разницу Токр в 10°С. Расчетные значения зон случайного разброса в предположении нормального распределения ошибок определяют пороговое значение критерия дефектации элементов. Эти значения были проверены на большем статистическом материале и дали такие же результаты (рис. 5).

Подобные исследования формы плотности распределения температуры при инфракрасном контроле применялись при диагностике трансформаторов тока [3].

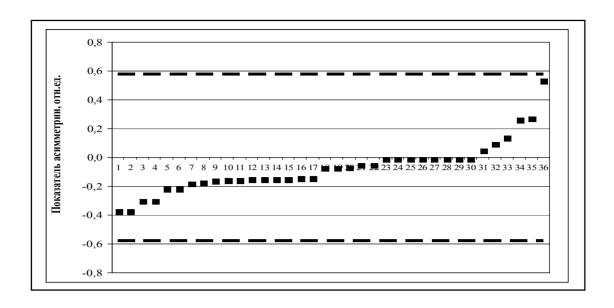


Рис. 5. Результаты обработки данных по 36-ти элементам ОПН. Данные ранжированы в порядке возрастания.

## Выводы.

- 1. Разработана методика обработки данных ИК-контроля, позволяющая надежно оценивать техническое состояние элементов ОПН.
- 2. Определен безразмерный критерий дефектации коэффициент асимметрии плотности распределения температуры в выделенной области, слабо зависящий от внешних условий и позволяющих вести мониторинг состояния элементов.
- 3. На большом статистическом материале определены границы случайного разброса этого критерия. Это позволит вовремя обнаружить статистически значимые отклонения критерия от случайного разброса.
- 4. Решена задача технической диагностики обнаружение дефекта на ранней стадии его развития.

## Литература.

- 1.Кондратенко И.В., Таланов А.А., Соколов А.Е. Диагностика оборудования Красноярской ГЭС. Гидротехническое строительство, 2002.№10.
- 2.РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования. Издание шестое.М.:ЭНАС,1998.
- 3.Аксенов Ю.П., Голубев А.В., Завидей В.И., предприятие «ДИАКС». Контроль технического состояния трансформаторов тока ТФРМ на рабочем напряжении. Энергетик, 2004, №3,4.