



Энергослужба предприятия

новости обзоры анализ опыт эксплуатации

№ 1 (7)/2004

СОБЫТИЕ
**Форум "Насосы.
Компрессоры. Арматура"**
стр. 4

ВЕНТИЛЯЦИЯ
Рекуперативные системы
стр. 24

ОБОРУДОВАНИЕ
Системы подготовки сжатого воздуха
стр. 34

ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Надежность современных систем производства и распределения электроэнергии в значительной мере определяется безотказностью работы электроустановок. Традиционные методы контроля оборудования в основном требуют вывода его из работы. В этом отношении тепловизионная диагностика позволяет производить оценку его состояния в процессе работы и выявлять многие дефекты на ранней стадии их развития.

Обеспечение безопасности эксплуатации электроустановок, предупреждение наступления аварийных ситуаций регламентированы "Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей", утвержденными Приказом Министерства энергетики РФ от 13.01.2003 г. № 6, зарегистрированными в Минюсте РФ 22.01.2003 г. № 4145, устанавливающими сроки, виды, технические средства и технологическую документацию проведения испытаний электроустановок.

Диагностика технического состояния электрооборудования осуществляется как специализированной аппаратурой, с использованием которой производят прямые измерения электрических параметров контролируемых объектов традиционными методами, так и приборами для измерения косвенных характеристик электроустановок, например температуры поверхности, на бесконтактном измерении которой основана тепловизионная диагностика [1,2].

Эффективность использования тепловизионной диагностики обусловлена тем, что при работе электрооборудования под нагрузкой часть

электрической энергии переходит в тепловую, характеристики которой можно зарегистрировать инфракрасными приборами.

Материалы, применяемые при изготовлении электрооборудования, можно разделить на ряд групп: проводниковые, изолирующие (диэлектрики), магнитные и полупроводниковые.

Так, выделение тепла в токоведущих частях имеет место вследствие сопротивления проводников, протекающему по ним тока. Кроме того, в токоведущих частях и в нетоковедущих металлических элементах могут

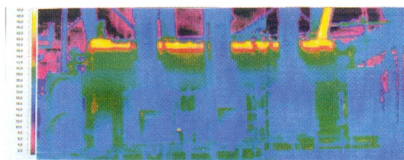


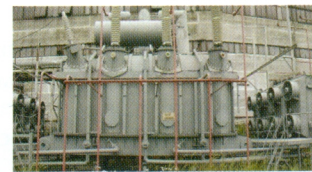
Рис. 2. Термограмма поверхности бака автотрансформатора 330/110 кВ (нагрузка по мощности - 30% номинальной). Под крышкой бака образовалась "застойная" зона масла с температурой перегрева до 20°C

возникать вихревые токи, наличие которых также способствует тепловыделению. В магнитных материалах оборудования происходит выделение тепла вследствие магнитного гистерезиса. В изоляции, находящейся под напряжением, тепловыделение обусловлено так называемыми диэлектрическими потерями. Одновременно с выделением тепла в оборудовании происходит процесс отвода тепла с его внешней поверхности.

Отвод тепла в этом случае может происходить естественным путем или с использованием принудительных средств охлаждения. Тепловой режим и температурные характеристики проектируемого оборудования обычно задаются в зависимости от класса нагревостойкости изоляционных элементов, соприкасающихся с токоведущими частями по допустимой температуре нагрева и допустимому превышению температуры оборудования,



Рис. 3. Термограмма поверхности мощного силового трансформатора с существенными отклонениями по температуре на левой фазе.



токоведущей части при допустимых токовых перегрузках [3]. Изоляцию токоведущих частей электрооборудования классифицируют по следующим видам: газовая, жидкая и твердая.

Газообразные диэлектрики используются в виде воздуха, водорода, элегаза (шестифтористая сера). Воздух при равномерном поле имеет электрическую прочность 15-25 кВ/см. При пробое воздушных промежутков, прилегающих к чистой поверхности, например изоляторов, разрядное напряжение снижается до 3-5 кВ/см и загрязненной - до 0,5-1 кВ/см. Газообразный диэлектрик подвержен загрязнению и увлажнению, а элегаз при определенных условиях - разложению, что может существенно снизить его электрические характеристики.

Жидкие изоляционные материалы, прежде всего трансформаторное масло, получили широкое применение в электротехнике. Электрическая прочность трансформаторного масла обычно поддерживается в пределах 80-200 кВ/см при испытании в стандартном разряднике. Значительное снижение пробивного напряжения масла связано с его загрязнением или увлажнением даже в тех случаях, когда это имеет место в ничтожных количествах - сотых долях процента.

Твердые изоляционные диэлектрики могут состоять из органических и неорганических материалов. К твердым материалам относят: волокнистые материалы (дерево, бумага, картон), а также изготавливаемые с их использованием слоистые пластики (бакелит, гетинакс и др.), керамические материалы (фарфор, стекло) и минеральные вещества, например слюда. Электрическая прочность твердых диэлектриков значительно выше, чем у газообразных и жидких, и зависит

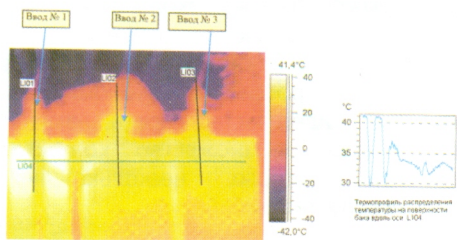


Рис. 1. Трансформатор ТДТН-25000/110/35/6,6 кВ. Термограмма поверхности бака трансформатора со стороны выводов обмотки 35 кВ. В области левой фазы - локальный очаг нагрева.

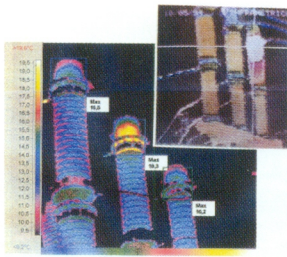


Рис. 4. Нагрев в зоне контактного тока-схема дугогасительного устройства выключателей серии ВМТ.

от вида, рода и состояния применяемых материалов.

Основными видами дефектов твердой изоляции являются: загрязнение, увлажнение, расслоение, потеря электрической и механической прочности, старение изоляции, необратимые химические процессы, изменяющие структуру материала, и др. Дефекты в изоляции могут носить как распространенный, так и сосредоточенный характер. Последний вид дефекта трудно уловим традиционными методами технического контроля. Сосредоточенные дефекты, если они обладают повышенной проводимостью, являются источниками локальных тепловыделений, превышающих уровень тепловых излучений с остальной поверхности диэлектрика.

Локальные тепловыделения в токоведущих системах и контактных соединениях могут быть обусловлены следующими причинами:

- в контактных соединениях, выполненных сваркой: подрезами, кавернами, непроварами, шлаковыми и газовыми включениями, пережогами металла, неровностью соединенных проводников и другими причинами. Возникновение дефектов у контактных соединений, выполненных пайкой, связано с неправильным подбором наконечников, непропаем, наличием каверн;
- в дефектных контактных соединениях, выполненных опрессовкой, наблюдается неправильный подбор наконечников, неполный ввод жилы в наконечник, недостаточная сте-

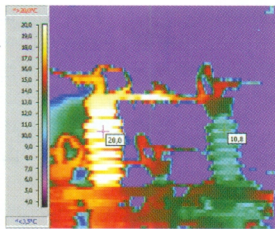


Рис. 5. Опорно-стержневой изолятор с продольной трещиной. Температура в точках: дефекта - 20,0°C, исправного - 10,8°C

пень опрессовки, несоосность и асимметрия провода и гильзы. Контактные соединения, выполненные с помощью болтов, чаще всего имеют дефекты, обусловленные использованием шайб при соединении медной жилы с плоским выводом из меди или сплава алюминия, из-за отсутствия тарельчатых пружин, непосредственного подсоединения алюминиевого наконечника к медным выводам оборудования в помещениях с агрессивной или влажной средой;

- в магнитных материалах: старение межлистовой изоляции магнитопровода, замыкания между отдельными пластинами или пакетами магнитопровода, некачественная сборка и стяжка пакетов, нарезка пластин магнитопровода не вдоль, а поперек оси проката листа, нарушения в общей системе заземления магнитопровода.

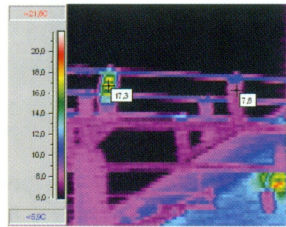


Рис. 6. Шинный мост 10 кВ с дефектным изолятором. Температура дефектного изолятора - 17,3°C, исправного - 7,8°C.

Результаты инфракрасной диагностики, характеризующие тепловое состояние контролируемого оборудования, во многом зависят от конструкции, расположения очага источника тепловыделения, его интенсивности, внешних воздействий и других факторов и требуют сравнения с результатами, полученными на других фазах или идентичном оборудовании.

В основу инфракрасной диагностики электрооборудования положен тепловой (тепловизионный) метод неразрушающего контроля, дополненный информацией о контактных измерениях температурных параметров и других параметров объекта контроля (при соблюдении техники безопасности) и метеорологических характеристик окружающей среды на момент проведения обследования [4].

Принцип работы приборов теплового контроля основан на преобразовании инфракрасного излучения тел, к которому нечувствителен человеческий глаз, в видимое. Спектральный состав и интенсивность

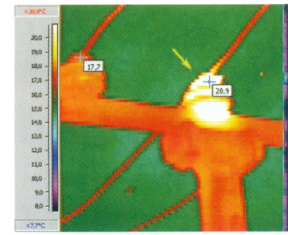


Рис. 7. Шинный мост 10 кВ на штыревых изоляторах. Дефектный изолятор имеет температуру - 20,9°C, исправный - 17,7°C.

излучения любого предмета в ИК-области спектра определяются его температурой и излучательной способностью. Для обнаружения ИК-излучения в приборах теплового контроля используются различные виды приемников: тепловые, фотоэлектрические и др. По своему построению и принципу действия большинство приборов теплового контроля представляют собой оптико-электронные и оптико-механические устройства.

Метод теплового контроля состоит во взаимодействии теплового (инфракрасного) излучения объекта с термометрическими чувствительными элементами, преобразовании параметров поля в электрические сигналы для последующей их регистрации в виде термограмм и (или) для компьютерной обработки в целях определения температур в отдельных точках или зонах обследуемого объекта, получения графиков, проведения расчетных процедур. С помощью тепловизора производится сбор информации о тепловых полях обследуемого объекта, фиксируемых дистанционно. Анализ температурных полей производится на основе изучения конструкторской и технологической документации контролируемого объекта с учетом нагрузки электрооборудования, параметров состояния обследуемой поверхности и окружающей среды.

В качестве основного средства тепловизионной диагностики электроустановок предусматриваются тепловизоры, инфракрасные сканеры и

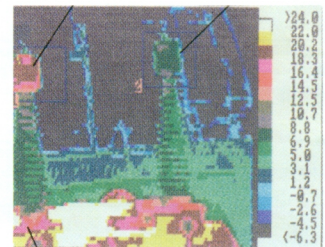


Рис. 8. Нагрев расширителей вводов типа ГБМТ-220/2000. Температура на поверхности исправного расширителя - 7,7°C, на поверхности дефектного - 20,1°C.

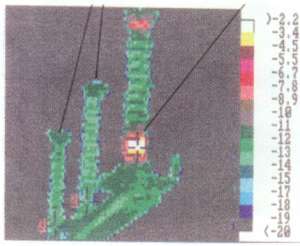


Рис. 9. Термограмма элементов разрядника PVC-35.

пирометры, зарегистрированные в Государственном реестре средств измерений и допущенные к применению в РФ.

В качестве дополнительных средств, повышающих точность измерений, рекомендуется использовать: термометр цифровой, анемометр, гигрометр и цифровую фотокамеру, если сканер или тепловизор не фиксирует видеоизображение.

Диагностика электроустановок с использованием тепловизионной аппаратуры должна проводиться квалифицированным персоналом, аттестованным в области неразрушающего контроля и технической диагностики по тепловому методу не ниже II уровня.

В принципе периодичность контроля оборудования зависит от его повреждаемости и затрат на профилактику.

В последнее время увеличивается тенденция проведения ремонтов электрооборудования по результатам профилактического контроля и мониторинга, а не в зависимости от продолжительности эксплуатации, что повышает роль и значение инфракрасных обследований.

Применение и совершенствование системы теплового контроля должны обеспечить возможность выявления в оборудовании дефектов желательного на начальной стадии их развития при минимальных затратах на его проведение, а также учитывать возможные причины повреждения оборудования (табл. 1).

Поэтому периодичность инфракрас-

ной диагностики оборудования электроустановок потребителей должна устанавливаться с учетом местных условий эксплуатации.

В качестве ориентировочных сроков проведения инфракрасной диагностики электрооборудования могут быть предложены:

- для электроустановок 35 кВ и ниже - один раз в два года,
- для электроустановок 110-220 кВ - один раз в один-два года,
- для электроустановок 330-500 кВ - ежегодно.

Если при проведении планового контроля обнаружены температурные аномалии на участках диагностируемого электрооборудования

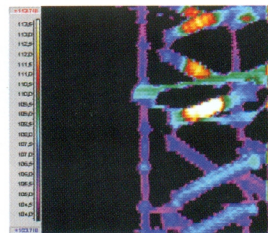


Рис.10. Вентильный разрядник PBMG-330 кВ с дефектным элементом.

сверх нормативных параметров, то тепловой контроль проводится чаще, в зависимости от величины превышения температуры.

Тепловой контроль электрооборудования дает возможность выявления следующих дефектов, приведенных в табл. 2 [5]. Термограммы некоторых объектов из табл. 2 приведены на рис. 1-16.

Основные причины повреждений оборудования высокого напряжения приведены в таблице 1.

При проведении анализа результатов теплового контроля электроустановок необходимо учитывать следующие факторы: конструктивные и технологические параметры обследуемого объекта, его токовую нагрузку и тепловую инерцию, излучательную способность поверхности, воздействие солнечной радиации

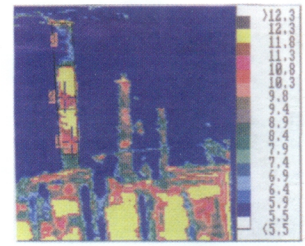


Рис. 11. Термограмма конденсатора связи 500 кВ. Верхний элемент имеет превышение температуры 6,3°C, средний и нижний соответственно - 11,4 и 10,7°C.

или источников искусственного освещения, влияния паразитных излучений, метеорологические параметры среды на момент проведения обследования (температуры воздуха, наличия осадков, ветра), геометрические характеристики оптических схем проведения контроля [3,5]. Проведение тепловизионного контроля осуществляется согласно методик проведения измерений, оформленных и аттестованных в установленном порядке [2].

При проведении тепловизионной диагностики электрооборудования промышленных предприятий и в ЖКХ, смонтированного в помещениях, требования к мешающим факторам снижены по сравнению с обследованиями объектов, расположенных в натуральных условиях. Эффективность же диагностики выше. Например, при обследовании электро-

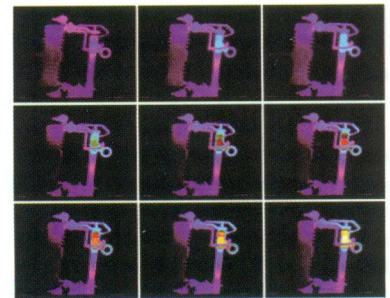


Рис. 12. Термограммы процесса развития дефекта в контакте разъединителя.

оборудования одного из московских предприятий, планирующего проведение реконструкции и наращивание выпуска своей продукции, выявлен существенный ряд недостатков и предаварийных ситуаций, которые в дальнейшем значительно осложнили бы работу предприятия. На рис. 13-16 приведены термограммы обнаруженных неисправностей. Таким образом, вовремя проведенная диагностика работающего электрооборудования позволяет оптимизировать его эксплуатацию, обнаружить дефекты и произвести

Вид оборудования	Элементы конструкций	Причины повреждений
Трансформаторы, автотрансформаторы	Изоляция Обмотки и магнитопровод Устройства регулирования напряжения	Увлажнение, термическое и электрическое разрушение (включая частичные разряды); изменение физико-химических свойств, насыщение газами и загрязнение масла. Динамическая неустойчивость при токах короткого замыкания, перегревы, нарушение изоляции элементов (короткозамкнутые контуры). Перегревы, отказы функционирования
Выключатели и разъединители	Контактная система и ее привод Изоляция	Перегревы, отказы функционирования (разрегулировка). Увлажнение, пробой элементов, изменение характеристик масла (для маслонаполненных конструкций), частичные разряды (для КРУЭ)
Вводы и измерительные трансформаторы	Изоляция Обмотки и магнитопровод	Увлажнение, термическое и электрическое разрушение (включая частичные разряды); изменение физико-химических свойств, насыщение газами и загрязнение масла. Изменение характеристик, перегревы (в основном из-за витковых замыканий)
Ограничители перенапряжений, разрядники	Шунтирующие и рабочие элементы Искровые промежутки	Износ, увлажнение. Изменение разрядных напряжений

Табл.1

Электротехническое оборудование электростанций и сетей	Выявляемые неисправности
Генераторы	1. Межлистовые замыкания статора 2. Ухудшение паяк обмоток 3. Оценка теплового состояния щеточного аппарата 4. Нарушение работы систем охлаждения статоров 5. Проверка элементов системы возбуждения
Трансформаторы (рис. 1-3)	1. Очаги возникновения магнитных полей рассеивания 2. Образование застойных зон в баках трансформаторов за счет шламообразования, разбухания или смещения изоляции обмоток, неисправности маслосистемы 3. Дефекты вводов 4. Оценка эффективности работы систем охлаждения
Коммутационная аппаратура (рис. 4-8)	1. Перегрев контактов токоведущих шин, рабочих и дугогасительных камер 2. Состояние внутрибаковой изоляции 3. Дефекты вводов, делительных конденсаторов 4. Трещины опорно-стержневых изоляторов
Маслонаполненные трансформаторы тока	1. Перегревы наружных и внутренних контактных соединений 2. Ухудшение состояния внутренней изоляции обмоток
Вентильные разрядники и ограничители перенапряжений (рис. 9,10)	1. Нарушение герметизации элементов 2. Обрыв шунтирующих сопротивлений 3. Неправильная комплектация элементов
Конденсаторы (рис. 11)	Пробой секций элементов
Линейные ВЧ-заградители	Перегревы контактных соединений
КРУ, КРУН, токопроводы (рис. 12)	Перегревы контактных соединений выключателей, разъединителей, трансформаторов тока, кабелей, токоведущих шин и т.п.
Кабельное хозяйство электростанций	Перегревы силовых кабелей, оценка пожароопасности кабелей (рис. 13)
Воздушные линии электропередачи	Перегревы контактных соединений проводов (рис. 14)

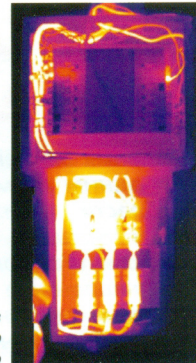
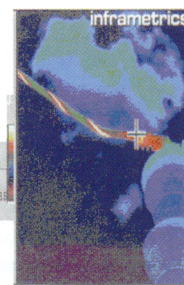


Рис. 14. Нагрев спрессованного контактного соединителя шлейфа разъединителя.

Рис. 15. Термограмма щита освещения и рубильников.

их ремонт на стадии минимальных затрат на данные операции. Во всяком случае, любая предотвращенная авария дешевле, чем ее последствия.

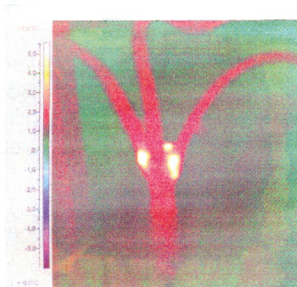


Рис.13. Термограмма сухих разделок силовых кабелей.

Выводы.

1. В настоящее время проведение тепловизионного контроля электрооборудования регламентировано "Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей", утвержденными Приказом Министерства энергетики РФ от 13.01.2003 г. № 6, и является обязательным.
2. Проведение тепловизионного контроля, анализ его результатов и выдача рекомендаций должны производиться согласно технологической документации - методик проведения контроля, аттестованных в установленном порядке сертифицированными специалистами.
3. Своевременное проведение тепловизионной диагностики электрооборудования позволяет оптимизировать затраты на его эксплуатацию.

С.Г. САЛИХОВ, докт. техн. наук;
Р.Т. ТРОИЦКИЙ-МАРКОВ

Литература

1. О.Н. Будадин, С.А. Бажанов, В.И. Зуев, О.С. Круторогов, Р.Т. Троицкий-Марков, М.И. Щербаков. Тепловизионный контроль и диагностика электрооборудования. "Энергослужба предприятия", 2003, № 4(6), с.8-12.
2. Методика тепловизионной неразрушающей диагностики электрооборудования (основные положения). - Технологический институт энергетических обследований, диагностики и неразрушающего контроля "ВЕМО" 08.00.00.000 ДМ, 2003.
3. С.А. Бажанов, О.Н. Будадин, Е.В. Абрамова, Т.Е. Троицкий-Марков и др. Комментарии и пояснения к "Методике тепловизионной неразрушающей диагностики электрооборудования". - Технологический институт энергетических обследований, диагностики и неразрушающего контроля "ВЕМО" 08.00.00.000 ДМ, 2003, 168 с.
4. О.Н. Будадин, А.И. Потапов, В.И. Колганов, Т.Е. Троицкий-Марков, Е.В. Абрамова, Тепловой неразрушающий контроль изделий. - М.: Наука, 2002. - 472 с.
5. С.А. Бажанов, ИК-диагностика электрооборудования распределительных устройств. - М.: НТФ "Электропрогресс", 2000. - 76 с. [Библиотечка электротехника, приложение к журналу "Энергетик"; Вып. 4(16)].

Табл.2

По вопросам приобретения методических материалов, измерительной аппаратуры и проведения тепловизионной диагностики можно обращаться в организации:

- * Технологический институт энергетических обследований, диагностики и неразрушающего контроля «ВЕМО», г. Москва, тел. (095)237-7288, факс (095)237-6457, E-mail: tigris@tsg.ru,
- * Зеленоградская энергосберегающая компания «ВЕМО», г. Зеленоград, тел. (095)536-4071, факс (095)944-7050, E-mail: info@zelweto.ru,
- * «Эско-Электросталь», г. Электросталь, МО, тел. (257)700-74, факс (916)274-1778,
- * «Компьютерная термография «Ир-тис», г. Москва, тел./факс (095)924-2351, E-mail: info@irtis.ru.

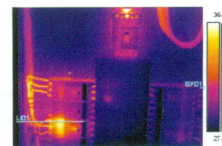
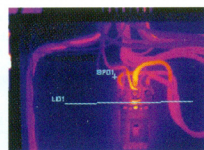
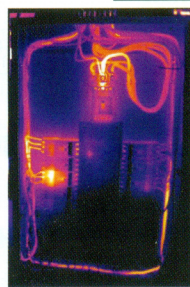


Рис. 16. Щит силовой ЩС1-2. Подгорание фазы В на вводном автомате со стороны ввода, температура до 40°С. Справа, в 3-м сверху автомате, возможно подгорание контактов.