

УДК 621.384.3

Використання тепловізійних систем діагностування для попередження аварій електрообладнання

Василенко В.В.

д-р техн. наук, професор,

ВП НУБіП України "Ніжинський агротехнічний інститут", м.Ніжин

Немає практично жодного підприємства чи організації, де б не виникала потреба вимірювання температури - це контроль технологічних процесів, енергетичні обстеження, забезпечення життєдіяльності, попередження аварій тощо.

Серед методів і засобів неруйнівного контролю і технічного діагностування все більш одержують поширення методи контролю температури з використанням тепловізорів. Особливо актуальним є це питання в енергетиці, що обумовлюється передусім ефективністю даного методу контролю, безпечністю проведення, незначними експлуатаційними витратами, відносно недорогим технічним обслуговуванням і низькими інспекційними витратами.

Застосування тепловізійного контролю електрообладнання базується на тому, що значна кількість його дефектів викликає зміну температури дефектних елементів, внаслідок чого змінюється інтенсивність інфрачервоного випромінювання. Ці зміни температурних полів містять в собі інформацію про процеси теплообміну обстежуваних об'єктів, наявність локальних джерел тепла, порушення однорідності теплофізичних властивостей матеріалів тощо.

Завдяки достатній чутливості сучасних тепловізорів можна виявляти на ранній стадії як дефекти контактних з'єднань, так і погіршення стану ізоляції багатьох видів електрообладнання, а отже можна зробити однозначний висновок про наявність чи відсутність в електрообладнанні прихованих дефектів, які важко, а в багатьох випадках навіть неможливо, виявити іншими методами.

Однією з визначальних характеристик сучасного електрообладнання є термін його служби, що термін безпосередньо залежить від теплового стану електрообладнання та його струмовідних частин. За таких обставин дуже важливо мати достовірну інформацію про тепловий стан найбільш відповідальних конструктивних частин і вузлів електрообладнання під час його експлуатації. Оцінка теплового стану електрообладнання і струмовідних частин залежно від конструкції й умов їх роботи може здійснюватись за нормованими

температурами нагрівання, надлишковою температурою, динамікою змінювання температури в часі зі зміною навантаження, порівнянням вимірюваних значень температури в межах однієї фази або між фазами зі значенням температури завідомо справних частин електрообладнання.

Тепловізійна діагностика повинна вирішувати дві задачі, перша з яких пов'язана з установленням технічного діагнозу, а друга спрямована на досягнення мети - прогнозування технічного стану обладнання. У задачу діагнозу входять пошук місця несправності, виявлення причин відмови, контроль технічного стану. Вирішення задачі прогнозування служить для визначення технічного стану об'єкта із заданою ймовірністю на майбутній інтервал часу.

Відповідно до вимог стандартів¹ під час діагностування необхідно визначити показники надійності шляхом статистичного аналізу, що дозволяє оцінити рівень експлуатації електрообладнання і якість технічного обслуговування. [4-5].

Статистичний аналіз даних тепловізійного контролю дозволяє не лише виділити об'єкти, що мають високі чи низькі показники експлуатаційної надійності, але і вчасно звернути увагу фахівців на устаткування, надійність якого з часом знижується.

Тепловізійний контроль може здійснюватися двома методами:

- 1) пасивним - полягає у використанні природного тепла, що виділяється в процесі виробництва або експлуатації об'єкта контролю, і спостереженні за допомогою тепловізійної системи (ТС) розподілу температур у часі і просторі. Порівняння з ідеальною моделлю розсіювання тепла дозволяє визначити усі відхилення температури, важливі для режимів експлуатації;
- 2) активним - припускає нагрівання об'єкта зовнішнім джерелом енергії. ТС аналізує поширення теплових хвиль у динаміці і по зміні теплопровідності в матеріалі, виявляючи внутрішні дефекти [1], [3].

За реалізацією програмного підходу до тепловізійного контролю є можливість обліку значно більшої кількості факторів впливу, а також можливість коригування їх і додавання, якщо вони не були враховані під час складання програми забезпечення надійності обладнання. Стосовно контактних з'єднань враховуються наступні фактори: геометричні розміри контакт-деталей, питомий опір матеріалу

¹ ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения.

ГОСТ 10434-82. Соединения контактные электрические. Классификация. Общие технические требования.

контактів, температура навколишнього середовища, передісторія протікання електричного струму, мікрогеометрія поверхні, сила стискання контактів.

Поряд з цим на показники надійності обладнання впливають [7]:

- якість виготовлення й монтажу;
- тривалість (термін) та рівень експлуатації;
- кількість режимів короткого замикання;
- тривалий максимальний струм навантаження;
- умови навколишнього середовища;
- рівень підготовки експерта, що проводить тепловізійне обстеження;
- кількість резервного обладнання.

Чому саме температура окремих конструктивних деталей, вузлів та струмовідних частин електрообладнання так суттєво впливає на термін служби електрообладнання?

Це обумовлено фізичними властивостями провідникових та ізоляційних матеріалів, основними з яких є наступні:

- механічна міцність провідників. У разі тривалого протікання по провідниках струму навантаження їх міцність з підвищенням температури знижується: для алюмінієвих провідників – за температури понад $+200^{\circ}\text{C}$, для мідних провідників – понад $+120^{\circ}\text{C}$;
- теплова стійкість ізоляції, прилягаючої до струмовідних частин, що є значно нижчою за теплостійкість голих неізольованих проводів. Тому навіть порівняно невелике перевищення температури понад допустиму знижує опір ізоляційних матеріалів, що в свою чергу викликає інтенсивне виділення тепла за рахунок діелектричних втрат і призводить до різкого скорочення терміну служби ізоляції, а отже і самого електрообладнання;
- якість та надійність контактних з'єднань, що забезпечують безперервність струмового кола. Від технічного стану цих з'єднань прямо залежить, яку саме найбільш тривало допустиму температуру струмовідних частин може витримати електрообладнання без скорочення терміну служби. Це викликано тим, що контактні з'єднання, які тривало перебувають під дією температури понад $+70^{\circ}\text{C}$, під час протікання по них струму навантаження інтенсивно окислюються. Внаслідок окислення зростає їх перехідний опір і стає більш інтенсивним тепловиділення у вигляді Джоулевого тепла, що призводить до виникнення дефекту. Швидкість розвитку дефектів

залежить від конструкції контактної з'єднання, його розміщення та інтенсивності зовнішнього впливу.

Для контактів і контактних з'єднань варто використовувати граничні значення температури нагрівання і її перевищення, наведені для струмів навантаження $(0,6-1,0)I_{\text{ном}}$ після відповідного перерахування. Перерахування виміряного перевищення температури до нормованого здійснюється, виходячи зі співвідношення:

$$\frac{\Delta T_{\text{мі}}}{\Delta T_{\text{дод}}} = \left(\frac{I_{\text{мі}}}{I_{\text{дод}}} \right)^2 \quad (1)$$

де $\Delta T_{\text{ном}}$ - перевищення температури при $I_{\text{ном}}$; $\Delta T_{\text{роб}}$ - перевищення температури при $I_{\text{роб}}$. Для контактів і контактних з'єднань при струмах навантаження $(0,3-0,6)I_{\text{ном}}$ оцінка їхнього стану проводиться за надлишковою температурою. В якості нормативу використовується значення температури, перераховане на $0,5I_{\text{ном}}$. Для перерахування використовується співвідношення:

$$\frac{\Delta T_{0,5}}{\Delta T_{\text{дод}}} = \left(\frac{0,5I_{\text{мі}}}{I_{\text{дод}}} \right)^2 \quad (2)$$

де $\Delta T_{0,5}$ надлишкова температура при струмі навантаження $0,5I_{\text{ном}}$, $\Delta T_{\text{роб}}$ - перевищення температури при $I_{\text{роб}}$.

Тепловізійний контроль устаткування і струмовідних частин при струмах навантаження нижче $0,3I_{\text{ном}}$ не ефективний для виявлення дефектів на ранній стадії їхнього розвитку. Дефекти, виявлені при зазначених навантаженнях, варто відносити до аварійних дефектів, і незначну їх частину варто відносити до дефектів із ступенем несправності, що розвивається. Непрямі перегрівки можуть бути викликані прихованими дефектами - наприклад, тріщинами усередині ізоляторів роз'єднувача, температура яких вимірюється зовні, при цьому часто дефектні частини усередині об'єкта бувають дуже гарячими і дуже обгорілими [2].

Діапазони граничних температур нагрівання частин і деталей апаратів і електротехнічних пристроїв встановлені стандартом².

Так гранично-допустима температура встановлена:

- для контактів з міді і сплавів без покриття на повітрі при номінальному навантаженні $+75^{\circ}\text{C}$;
- для контактів з накладними пластинами зі срібла $+120^{\circ}\text{C}$;

² ГОСТ 8024-90. Аппараты и электротехнические устройства переменного тока на напряжение свыше 1000 В. Нормы нагрева при продолжительном режиме работы и методы испытаний.

- для контактів з покриттям сріблом +105°C, стикові з покриттям зі срібла товщиною не менш 24 мкм +120°C;
- для контактів з покриттям оловом +90°C.

З'єднання (крім зварних і паяних) з міді, алюмінію і сплавів у повітрі без покриття можуть нагріватися до +90°C, за наявності олов'яного покриття - до +106°C, покриття сріблом, нікелем - до +115°C.

На етапі попередньої обробки результатів існує можливість візуального аналізу термограм, отриманих під час тепловізійного контролю. При цьому палітра кольорів автоматично обробляється з виведенням на екран комп'ютера максимальної й мінімальної температур для всього зображення чи окремого його фрагмента в режимі збільшення. Для будь-якої, обраної оператором за допомогою курсору, точки видається значення температури, а також ізоповерхні, тобто ділянки зображення з конкретною температурою (Рис. 1).

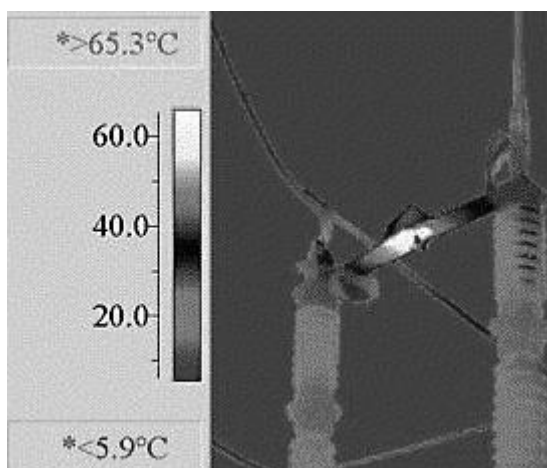


Рис. 1. Роз'єднувач 110 кВ. Дефектний контакт “ніж- губка”.

Найбільш масовим об'єктом тепловізійного контролю в енергетиці є контактні з'єднання у відкритих і закритих розподільчих установках (Рис. 2).

Аналіз статистики звітів про вихід з ладу енергетичного устаткування дозволяє стверджувати, що від 20 до 25% аварій силового електроустаткування обумовлено відмовами контактних з'єднань.

Встановлений наступний розподіл дефектів контактних з'єднань:

- болтові з'єднання - 48%;
- опресовані з'єднання - 6%;
- зварні шви - 2%;

- контакти роз'єднувачів - 43%;
- провідники і кабельні мережі - 1%

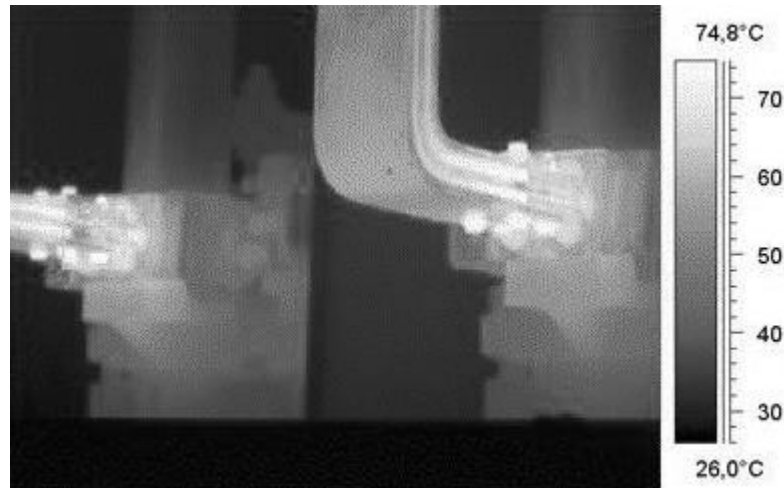


Рис.2.Термограма розбірного гвинтового контактного з'єднання провідників із плоскими виводами [6].

До об'єктів ТК відносяться також ізолятори (особливо порцелянові) у гірляндах високовольтних ліній передачі, а також ізолятори на вводах силових трансформаторів, електродвигунів, шинних мостів, порцелянові кришки електричних апаратів.

Висновок

В умовах переходу усієї світової промислово-економічної й комунальної інфраструктури на нові енергоефективні технології прогнозується широке використання засобів тепловізійного діагностування у всіх сферах виробництва та споживання енергії.

Сьогодні ні в кого не виникає сумніву в тім, що контроль стану устаткування з використанням тепловізійної техніки є одним із кращих способів економії коштів, що виділяються на регламентні, профілактичні і ремонтні роботи. Крім того, такий контроль сприяє підвищенню надійності й довговічності устаткування.

Можливості та перспективи застосування тепловізійного контролю в галузі електроенергетики досить широкі – від

електростанцій, підстанцій та високовольтних ліній електропередачі до технологічного обладнання, споживачів електроенергії. Отримані під час проведення тепловізійного контролю термограми дозволяють контролювати теплові режими роботи електрообладнання під навантаженням, швидко й чітко виявляти неполадки та окремі дефекти електрообладнання ще задовго до того, як вони призведуть до виникнення масштабних аварій.

Підсумком тепловізійного обстеження, як правило, є звіт, у якому описується кожен виявлений дефект, вказується ступінь його розвитку і даються рекомендації щодо часу й способів його усунення. Іншими словами, з'являється можливість планувати роботи з ремонту устаткування, спираючись не тільки на існуючі нормативи, але і використовувати результати тепловізійного обстеження.

Таким чином, систематичний тепловізійний контроль у поєднанні з сучасними методами статистичної обробки даних дозволяє зробити об'єктивні висновки щодо реального стану устаткування і запропонувати адекватні заходи для усунення факторів, що зменшують параметри його надійності.

Застосування тепловізійних технологій постійно розширюється, оскільки несе в собі величезний прикладний потенціал, пов'язаний з унікальними можливостями діагностувати значну гаму теплових джерел.

Список літератури

1. В.П.Вавилов Тепловые методы неразрушающего контроля. М.: Машиностроение, 1991.-250с.
2. А.П.Фоменков Использование тепловизионных систем диагностики для предупреждения аварий оборудования// Энергетик.-2002.-№3.- С.46.
3. С.А.Воронов, С.А.Мурахов, Н.А.Гордийко Применение тепловизионных систем для теплового неразрушающего контроля// Энергетика: економіка, технології, екологія.-2002.-№4.- С.43-47.
4. А.Б.Власов, А.В.Джура Оценка параметров надежности контактных соединений по данным тепловизионного контроля// Электротехника. –2002.-№6.-С.22.
5. А.Б.Власов Обработка и анализ данных тепловизионного контроля// Электротехника. –2002.-№7.-С.34.

6. И.А.Харченко, И.Н.Рыжиков, С.Е.Михайличенко. Тепловизионный контроль: предупредить аварию на ранней стадии развития дефекта// Электропанорама.-2003.-№5.- С.27-30.
7. А.Б.Власов Факторный анализ показателей надежности контактных соединений по данным тепловизионного контроля// transform.ru

Анотація

Розглядаються загальні положення теорії тепловізійного контролю електрообладнання, а також окремі методи його проведення. Наводяться рекомендації щодо використання тепловізорів і попередньої обробки результатів.

Робота буде корисна студентам вищих навчальних закладів, керівникам та персоналу енергетичних служб.

Аннотация

Рассматриваются общие положения теории тепловизионного контроля электрооборудования, а также некоторые методы его проведения. Приводятся рекомендации об использовании тепловизора и предварительной обработки результатов.

Работа будет полезная студентам высших учебных заведений, руководителям и персоналу энергетических служб.

The summary

General provisions of the theory termovision control of an electric equipment, and also some methods of realization are examined. Recommendations about use termovision and preliminary processing of results.

Work will be useful to students of higher educational institutions, heads and the personnel of power services.