

ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ КОНТРОЛЮ ТЕПЛООВОГО СТАНУ ВІДКРИТИХ КОНТАКТНИХ З'ЄДНАНЬ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

Кутін В.М., Шпачук О.О.

Вінницький національний технічний університет

Широке застосування інфрачервоної техніки в електроенергетиці дозволяє швидко діагностувати тепловий стан електрообладнання та контактних з'єднань. Діючи на території України нормативні документи, що визначають порядок проведення тепловізіонних обстежень та аналізу їх результатів потребують доопрацювання в частині аналізу результатів обстеження відкритих контактних з'єднань електрообладнання. Аналогічна ситуація спостерігається і при аналізі іноземних робіт з даної тематики. Використання чинних нормативних документів не дає можливості класифікувати дефекти при невідповідності одного з діагностичних параметрів закладеним нормам. В роботі запропоновано алгоритм прийняття рішення щодо визначення теплового стану відкритих контактних з'єднань електрообладнання.

Ключові слова: лінії електропередач, контактні з'єднання, інфрачервона техніка, термографічний контроль, дефект.

Постановка проблеми. В даний час на підприємствах енергетичної галузі для визначення технічного стану електрообладнання все ширше застосовуються засоби інфрачервоної техніки. Використання інфрачервоної техніки дозволяє контролювати тепловий стан маслоснаповненого обладнання, складних ізоляційних конструкцій а також відкритих контактних з'єднань електрообладнання в процесі його експлуатації і оперативно реагувати на зміну його технічного стану. Чинні нормативні документи, що регламентують виконання обстежень засобами інфрачервоної техніки [1; 2] враховують досвід країн світу щодо виконання даного типу робіт, але мають і серйозний недолік такий, як відсутність чіткого алгоритму прийняття рішення про технічний стан електрообладнання, хоча критерії справності для кожного окремого елемента електрообладнання відомі.

Аналіз попередніх досліджень та публікацій. В нормативних документах [1; 2] визначено порядок проведення та обробки результатів тепловізіонних обстежень. В роботах [3; 4] проведено систематизацію та аналіз результатів тепловізіонних обстежень, що проводились на території Росії а також висловлені пропозиції, щодо покращення нормативних документів, що діють на території Російської Федерації. В роботі [5] авторами представлені розроблені ними нові математичні моделі відновлення тепловізіонного портрету електрообладнання та побудовані на їх основі пристрої, що дозволяють визначити технічний стан досліджуваного об'єкту за результатами вимірювання теплових полів.

Мета роботи. Метою роботи є побудова алгоритму визначення теплового стану та ступеню розвитку дефектів відкритих контактних з'єднань електрообладнання на основі діючої нормативної бази.

Матеріали дослідження. Виходячи з особливостей конструктивного виконання, контактні з'єднання електрообладнання можна поділити на болтові, зварювальні, опресовані та виконані за допомогою скручування.

Основними причинами виникнення дефектів у контактних з'єднаннях виконаних за допомогою зварювання є підризи, пухирці, каверни, тріщини, шлакові та газові включення, перепалені дроти жили, а також відсутність захисних покриттів на з'єднаннях. Зварні з'єднання не використовуються для з'єднання проводів перерізом більше 240 мм². Таке обмеження пояснюється тим, що під час зварювання складно забезпечити достатнє прогрівання проводу та рівномірне наближення кінців, що призводить до перепалювання верхніх шарів проводів та інших дефектів монтажу. До підвищення тем-

ператури таких контактних з'єднання призводить збільшення перехідного опору в місці контакту, що в свою чергу викликає обривом окремих проводів внаслідок дії механічних зусиль та неякісного виконання з'єднання. Швидкість розвитку дефекту суттєво залежить струму навантаження, натягу проводу, вітрових та вібраційних навантажень а також ряду інших факторів [3; 4].

Серед основних причин виникнення дефектів та погіршення технічного стану опресованих контактних з'єднань можна виділити такі: неправильний підбір наконечників та гільз, неповне введення жили в наконечник, недостатня ступінь опресовки, зміщення сталюого осердя у з'єднувачі проводу. Перехідний опір такого контактного з'єднання значно залежить від стану контактної поверхні проводів, що опресовуються. На стан контактної поверхні впливає поява оксиду алюмінію, що різко збільшує перехідний опір в місці контактного з'єднання. Основними характеристиками опресованих контактних з'єднань є ступінь опресовки та механічна міцність. Максимуму механічної міцності з'єднання відповідає мінімуму електричного контактного опору [3; 4].

Для болтових контактних з'єднань характерними є такі причини виникнення дефектів: відсутність шайб в місці з'єднання жили кабелю з плоским виводом електрообладнання з міді чи сплаву алюмінію, відсутність тарілчастих пружин, безпосереднє приєднання алюмінієвого наконечника до мідних виводів електрообладнання у приміщеннях з підвищеною вологістю чи агресивним середовищем. Процесу виникнення оксидних плівок на поверхні болтових контактних з'єднань сприяє відмінність у коефіцієнтах температурного розширення сталюих болтів та алюмінієвих шин. Тому при роботі струмопроводів зі змінним навантаженням в результаті вібраційних впливів відбувається ущільнення контактної поверхні алюмінієвої шини. В цьому випадку зусилля, що стягує дві контактні поверхні ошиновки слабшає, а змазка, що розташовується між шинами, випаровується, що призводить до збільшення перехідного опору і, як наслідок, додаткового нагріву контактного з'єднання. Як правило, процес розвитку дефекту в болтовому контактному з'єднанні є достатньо тривалим і залежить від таких факторів, як: струм навантаження, режим роботи електроустановки, дія хімічних реагентів, вітрових навантажень, зусиль затяжки болтів, стабілізації тиску контактів [3; 4].

Що стосується контактних з'єднань виконаних скруткою, то основними причинами виникнення у них дефектів є недоліки монтажу. Неповна скрутка проводів призводить до витягування дроту зі

з'єднання і його обриву. Неочищені проводи створюють високий перехідний опір в результаті чого відбувається перегрів проводу у з'єднанні з подальшим можливим його вигоранням [3; 4].

Розглянемо критерії оцінки теплового стану різних типів контактних з'єднань які використовуються за кордоном. Для оцінки теплового стану опресованих, болтових, зварних контактних з'єднань а також з'єднань виконаних за допомогою скруток використовується значення надлишкової температури. Також для оцінки стану опресованих контактних з'єднань додатково використовується коефіцієнт дефектності.

Основним діагностичними параметрами, що визначають тепловий стан контактного з'єднання є найбільше допустиме значення температури нагріву, найбільше допустиме значення перевищення температури, надлишкова температура та коефіцієнт дефектності.

Користуючись вказівками нормативних документів, що діють на території України, можна чітко визначити ступінь розвитку дефекту за такими показниками: для опресованих контактних з'єднань при струмі навантаження $0,3 \div 1,0 I_{ном}$ та для болтових контактних з'єднань при навантаженні $0,3 \div 0,5 I_{ном}$ – значення надлишкової температури та коефіцієнт дефектності; для болтових з'єднань при навантаженні $0,5 \div 1,0 I_{ном}$ – найбільше допустиме значення температури і перевищення температури.

Для кожного показника визначено діапазон значень відповідно до якого дефект можна класифікувати як такий, що знаходиться на ранній стадії розвитку, розвинений чи аварійний. Слід зазначити, що в реальних умовах класифікувати дефект за обома показниками вдається вкрай рідко, а в нормах [2] не викладений алгоритм прийняття рішення у таких випадках. Пропонується розробити такий алгоритм спираючись на напрацювання [2-5]. В загальному випадку запропонований алгоритм має такий вигляд (рисунк 1).

Першим кроком в алгоритмі є отримання первинних результатів тепловізійного огляду: виміряні значення температур контактних з'єднань для кожної з фаз $T_{вА}$, $T_{вВ}$, $T_{вС}$, температури провідників на відстані 1 м від контактного з'єднання $T_{мА}$, $T_{мВ}$, $T_{мС}$ (з урахуванням поправки на коефіцієнт випромінювання, значення температури навколишнього середовища та відстані до досліджуваного об'єкту), температура навколишнього середовища $T_{вс}$, швидкість вітру V , номінальне навантаження для кожної фази $I_{ном}$, струмове навантаження кожної фази на

момент обстеження $I_{вА}$, $I_{вВ}$, $I_{вС}$, а також тип контактного з'єднання.

Наступним кроком є розрахунок дійсних значень температури контактних з'єднань з поправкою на швидкість вітру $T_{впА}$, $T_{впВ}$, $T_{впС}$. Для приведення температури до нормальних умов (швидкість повітря рівна 1 м/с) слід використовувати наступний вираз:

$$T_1 = T_2 V_2^{0,448} \quad (1)$$

Далі здійснюється вибір типу контактного з'єднання. Тип контактного з'єднання визначить подальший порядок дій так критерії оцінки стану контактного з'єднання. У випадку опресованих контактних з'єднань при струмі навантаження $0,3 \div 1,0 I_{ном}$, або болтових контактних з'єднань при струмі навантаження $0,3 \div 0,5 I_{ном}$ оцінка стану проводиться по надлишковій температурі та коефіцієнту дефектності. Важливо визначитися з первинним та вторинним критерієм оцінки теплового стану з'єднання. Для вказаних вище типів з'єднань в якості первинного критерію пропонується вико-

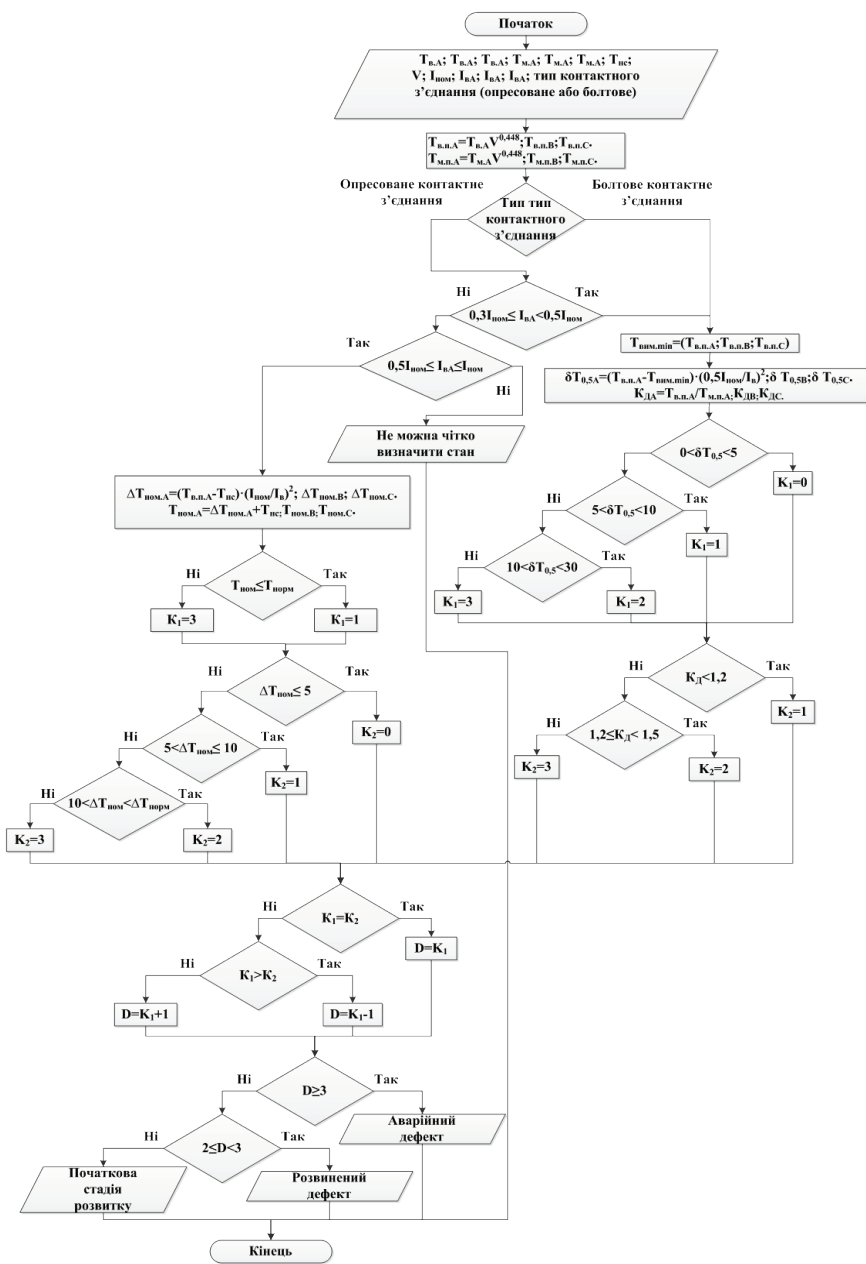


Рис. 1. Алгоритм прийняття рішення про тепловий стан контактного з'єднання

ривувати надлишкову температуру. Згідно з [2] надлишкова температура це перевищення вимірної температури контактної з'єднання (контакту, контрольованого вузла) над температурою аналогічного контактної з'єднання іншої фази (з найменшою температурою), що знаходиться в однакових умовах. Значення надлишкової температури можна розрахувати за таким співвідношенням:

$$\delta T_{0,5} = (T_v - T_{v,\min}) \left(\frac{0,5 I_{nom}}{I_v} \right)^2. \quad (2)$$

За цим критерієм визначається дефектне з'єднання та йому присвоюється первинна категорія-оцінка.

Наступним кроком є перевірка коефіцієнту дефектності для кожного контактної з'єднання.

Коефіцієнт дефектності контактної з'єднання – відношення максимальної вимірної температури контактної з'єднання (контакту) до максимальної температури вимірної на щіль (без будь-яких з'єднань) ділянки дроту (шини) на відстані не менше 1 м [2].

$$K_d = \frac{T_v}{T_m}. \quad (3)$$

У випадку аналізу болтових контактних з'єднань при струмі навантаження $0,5 \div 1,0 I_{nom}$ в якості первинного критерію для оцінки теплового стану контактної з'єднання використаємо найбільше значення вимірної температури:

$$T_{nom} = (T_v - T_{ns}) \left(\frac{I_{nom}}{I_v} \right)^2 + T_{ns}. \quad (4)$$

В чинних нормативних документах вказане тільки найбільше значення вимірної температури, тому первинний критерій-оцінка за цим параметром може відповідати або ранній стадії розвитку дефекту при значеннях вимірної температури, що нижчі за граничні, або аварійному стану при вищих значеннях. Наступним кроком є розрахунок перевищення температури. Під перевищенням температури (контактної з'єднання, контакту, контрольованого вузла) будемо розуміти різницю між вимірною темпера-

турою контактної з'єднання (контакту, контрольованого вузла) і температурою навколишнього середовища (повітря, електрики, масла) при тривалому режимі роботи. [2] Перевищення температури розраховується за наступним співвідношенням:

$$\Delta T_{nom} = (T_v - T_{ns}) \left(\frac{I_{nom}}{I_v} \right)^2. \quad (5)$$

За розрахованим значенням перевищення температури визначатиметься відповідно до норм вторинна категорія-оцінка.

В тому разі якщо вторинна категорія-оцінка дефектності контактної з'єднання рівна первинному коефіцієнту-оцінці, то первинна категорія-оцінка лишається без змін; якщо вторинна категорія-оцінка дефектності контактної з'єднання відноситься до нижчої категорії – то первинну категорія-оцінку контактної з'єднання варто знизити, якщо вторинна категорія-оцінка дефектності контактної з'єднання більша ніж первинна категорія-оцінка – то первинну категорія-оцінку контактної з'єднання варто підвищити. Такий висновок пояснюється тим, що у випадку невідповідності категорія-оцінки за коефіцієнтом дефектності чи перевищення температури первинній категорія-оцінці, нами спостерігається не рівномірний нагрів струмопроводучої жили та контактної з'єднання в процесі експлуатації.

Висновки. Діючі на території України нормативні документи, що регламентують проведення тепловізійних обстежень та аналіз їх результатів потребують доопрацювання в розділі обробки результатів обстежень та визначення ступеня розвитку дефектів. В роботі запропоновано алгоритм прийняття рішення щодо визначення теплового стану відкритих контактних з'єднань електрообладнання. Достовірні результати тепловізійного контролю електрообладнання загалом та контактних з'єднань зокрема дозволять оптимально розподілити виробничі ресурси при підготовці до планових ремонтних робіт, виявити дефекти на ранній стадії їх розвитку, а також аварійні дефекти які вимагають термінового усунення.

Список літератури:

1. Норми випробування електрообладнання. СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007, Харків, 2009. – 278 с.
2. Технічне діагностування електрообладнання та контактних з'єднань електроустановок і повітряних ліній електропередачі засобами інфрачервоної техніки. СОУ-Н ЕЕ 20.577:2007, Київ 2007. – 120 с.
3. Бажанов С. А. Тепловизионный контроль электрооборудования в эксплуатации (Часть 1) / С. А. Бажанов – М.:НТФ «Энергопрогресс», 2005. – 80 с.
4. Бажанов С. А. Тепловизионный контроль электрооборудования в эксплуатации (Часть 2) / С. А. Бажанов – М.:НТФ «Энергопрогресс», 2005. – 64 с.
5. Грабко В.В. Методи і засоби для дослідження об'єктів, що обертаються, за тепловими полями / В. В. Грабко, В. В. Грабко – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2008. – 155 с.

Кутин В.М., Шпачук А.А.

Винницький національний технічний університет

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ КОНТРОЛЯ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ОТКРЫТЫХ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Аннотация

Широкое применение инфракрасной техники в электроэнергетике позволяет быстро диагностировать тепловое состояние электрооборудования и контактных соединений. Действующие на территории Украины нормативные документы, определяющие порядок проведения тепловизионных обследований и анализа их результатов требуют доработки в части анализа результатов обследования открытых контактных соединений электрооборудования. Аналогичная ситуация наблюдается и при анализе иностранных работ по данной тематике. Использование действующих нормативных документов не позволяет классифицировать дефекты при несоответствии одного из диагностических параметров заложенным нормам. В работе предложен алгоритм принятия решения по определению теплового состояния открытых контактных соединений электрооборудования.

Ключевые слова: линии электропередач, контактные соединения, инфракрасная техника, термографический контроль, дефект.

Kutin V.M., Shpachuk O.O.
Vinnytsia National Technical University

PROCESSING RESULTS OF CONTROL OF THERMAL CONDITION OF OPEN CONTACT CONNECTIONS OF ELECTRICAL EQUIPMENT

Summary

Widespread use of infrared technology in the power industry enables to quickly diagnose thermal condition of electrical equipment and contact connections. Regulations governing the conduct thermal imaging surveys and analysis of the results applicable on the territory of Ukraine need to be updated in the section of analysis of the survey results regarding open electrical contact connections. A similar situation is observed in the analysis of foreign works on the subject. Use of existing regulations will not allow classifying defects in mismatch of diagnostic parameters and laid down norms. The paper presents an algorithm of deciding on the definition of the thermal condition of open electrical contact connections.

Keywords: power lines, contact connection, infrared technology, thermographic control, defect.

УДК 621.381. 82

МЕТОДИКА КЛАССИФИКАЦИИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Мирошниченко И.В.

Национальный технический университет Украины
"Киевский политехнический институт"

Предлагается метод классификации задач статистических измерений для этапа внешнего проектирования, являющегося научной основой для создания различных информационных систем. Классификация может быть использована при формировании математических моделей проблемных предметных областей и разработке алгоритмов и программ при проектировании систем обработки экспериментальных данных.

Ключевые слова: статистические измерения, внешнее проектирование, система обработки экспериментальных данных, проблемная предметная область, информационная технология; погрешность классификации.

Постановка проблемы. В большинстве случаев целью экспериментальных исследований в различных проблемных предметных областях (Problem area – PRAR) является вычисление по определенному алгоритму в системах обработки экспериментальных данных (СОЭД) характеристик сигналов $x(t)$, несущих информацию о PRAR. Уменьшение сроков разработки и снижение стоимости СОЭД за всё время их жизненного цикла LT (Life cycle Time) может быть достигнуто при применении CALS-технологий информационной поддержки (Continues Acquisition and Life cycle Support – CALS), идея которых состоит в эффективном управлении при выборе оптимального решения по определяющему показателю качества СОЭД на всех этапах их LT в сочетании с непрерывным технико-экономическим анализом рисков и затрат финансовых и материальных ресурсов [6].

Анализ последних исследований и публикаций. Основными этапами LT СОЭД являются: внешнее проектирование (выработка концепции, проведение научно-исследовательских работ, создания математической модели или электронного макета изделия, формирование определяющего показателя качества); внутреннее проектирование; технологическая подготовка производства (разработка оснастки для изготовления изделия и систем контроля качества); производство изделия; реализация изделия (маркетинг); эксплуатация (включая сервис); модернизация и утилизация.

На этапе внешнего проектирования СОЭД для исследования физических процессов в различных PRAR исследуемые явления чаще всего описываются вероятностными математическими моделями (ММ) [2] в виде случайных процессов $\xi(t)$. Теоретические вероятностные характеристики (ВХ) различных порядков этих $\xi(t)$ (математическое ожидание, дисперсия, СКО, корреляционные и спектральные характеристики, кумулянты и др.), могут быть представлены в виде результатов вычисления их оценок $\Theta^*[x(t)]$, называемых статистическими характеристиками (СХ). Оценки $\Theta^*[x(t)]$ вычисляются по результатам измерений мгновенных значений сигналов $x(t)$:

1) по массивам $\{*\}$ реализаций $X_i(t) = \{x_i(t)\}$,

причем $i = \overline{1, \infty}, t \in [0, \infty] \vee i = \overline{1, \infty}, t \in [t_1, t_2] \vee i \in I, t \in [0, \infty]$;

2) по массивам $\{*\}$ совокупностей последовательностей $X(t_i) = \{x(t_i)\}$ или ансамблей $\{x(t_i)\}$, если $i = \overline{1, \infty}, j = \overline{1, \infty} \vee i = \overline{1, \infty}, j \in \{j\} \vee i = \{i\}, j = \overline{1, \infty}$.

Адекватность теоретических ВХ и их оценок $\Theta^*[x(t)]$ может иметь место только при бесконечно большом объеме d данных, что выражается в понятиях реализации бесконечной длительности или бесконечно большого числа ансамблей реализаций. В предположении, что ограниченный объем d реализаций (последовательностей) получен от реальных объектов и при вычислении оценок оперируют действительными функциями, чаще всего одномерными, суммарная погрешность $\Delta \Theta^*[x(t)]$ вычис-