

В. М. Кутін¹
О. О. Шпачук²
М. В. Нікітчук²
В. М. Світко²

АВТОМАТИЗАЦІЯ АНАЛІЗУ ТЕПЛООВОГО СТАНУ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

¹Вінницький національний технічний університет;

²Відокремлений підрозділ «Хмельницька АЕС»

Розглянуто основні проблеми, що виникають під час аналізу теплового стану електрообладнання 0,4...750 кВ та запропоновані загальні підходи до побудови автоматизованої підсистеми аналізу теплового стану електрообладнання. Розвиток ефективної системи діагностики та прийняття рішення щодо доцільності подальшої експлуатації електроустаткування є актуальним, враховуючи значний термін служби більшості електричного обладнання електростанцій та підстанцій України. Система діагностики повинна мати можливість автоматичного або автоматизованого збору та обробки результатів періодичних електричних випробувань та вимірювань, контролю рівня часткових розрядів, контролю рівня вільних газів, розчинених в трансформаторному маслі, контролю за тепловим станом електричного обладнання; отримувати дані про режим навантаження контрольованого обладнання, погодні умови, паспортні дані обладнання; містити бази знань та алгоритми для аналізу даних поточних вимірювань контрольованих параметрів та набору значень вимірювань для комплексного визначення технічного стану обладнання. Рекомендується використовувати порівняння температури елементів електричного обладнання, представленого у відносних одиницях, для порівняння результатів теплових обстежень, які проводились в різних умовах навколишнього середовища та в різні сезони. Як базову температуру пропонується використовувати: для потужного маслонаповненого електрообладнання (силових трансформаторів, автотрансформаторів, реакторів) максимальну температуру, визначену термодатчиками, що встановлені до найгарячішої точки обладнання, а для електрообладнання з фарфоровою ізоляцією та малопотужного силового маслонаповненого обладнання — температуру навколишнього середовища на момент вимірювання.

Ключові слова: технічний стан, електрообладнання, струмоведуча частина, термографічний контроль, інфрачервона техніка.

Вступ

Тепловізійний контроль електрообладнання є одним з найоперативніших неруйнівних способів контролю технічного стану електрообладнання практично усіх класів напруги. За тепловою картиною електрообладнання і значенням струму навантаження електрообладнання можна оцінити стан ізоляції, струмопровідних частин та контактних з'єднань. Проте, не зважаючи на досить широке впровадження цього виду контролю обладнання на електричних станціях а також магістральних та районних електричних мережах, існують суттєві проблеми у систематизації результатів обстежень, що виконані в різний час, за різних умов навколишнього середовища, та у врахуванні результатів термографічного обстеження в разі комплексного оцінювання технічного стану електрообладнання. Крім того, діючи на сьогодні нормативні документи, що регламентують виконання термографічних обстежень потребують перегляду та доповнення в частині розробки та впровадження алгоритмів автоматизованого аналізу результатів термографічних обстежень.

Результати дослідження

Зважаючи на значний термін експлуатації переважної більшості (за деякими даними більше 90 %) силового електрообладнання електричних станцій та підстанцій України гостріше постає питання про побудову максимально ефективної системи діагностування та прийняття рішень щодо доцільності

подальшої експлуатації електрообладнання, яка б охоплювала максимальну кількість найінформативніших параметрів. В загальному випадку така система повинна: володіти можливостями автоматичного чи автоматизованого збору та обробки результатів періодичних електричних випробувань та вимірювань, контролю рівня часткових розрядів, контролю рівня вільних газів розчинених у трансформаторному маслі, контролю теплового стану електрообладнання; отримувати дані щодо режиму навантаження контрольованого обладнання, погодних умов, паспортних даних обладнання; містити бази знань та алгоритми аналізу як даних конкретного вимірювання контрольованих параметрів, так і сукупності вимірювань для всебічного визначення технічного стану обладнання (рис. 1). Комплексний підхід до діагностування дасть змогу відстежувати появу дефектів електрообладнання на ранній стадії розвитку, ґрунтуючись на проявах дефектів, що по-різному виявляються за допомогою різних методів діагностування.



Рис. 1. Структурна схема комплексної системи контролю технічного стану електрообладнання

Що стосується автоматизації термографічного контролю електрообладнання, то значна частина робіт, а саме: визначення переліку контрольованих вузлів електрообладнання, формування бази знань та визначення проявів можливих внутрішніх дефектів електрообладнання, розробка загальних підходів до проведення термографічних обстежень та формування груп термографічного контролю, виконана такими знаними спеціалістами в галузі інфрачервоної термографії, як Р. М. Горбей, В. Ф. Чернов, С. А. Бажанов, [1]—[4]. Проте впровадження запропонованих підходів до термографічного контролю в різних організаціях відбувалося по-різному, під впливом різного роду організаційно-технічних та економічних факторів. Для формалізації підходу до організації проведення термографічних обстежень пропонується доповнити загальні підходи такими кроками:

- визначити точки, з яких виконується огляд електрообладнання;
- визначити коефіцієнти випромінювання для обстежуваних поверхонь;
- розрахувати поправочні коефіцієнтів для кожної зони обстежуваного електрообладнання;
- розробити і впровадити алгоритми автоматизованого аналізу результатів тепловізійних обстежень.

Визначення коефіцієнтів випромінювання контрольованих вузлів електрообладнання в процесі його експлуатації може виявитися складною задачею, але використання вимірних коефіцієнтів випромінювання, в порівнянні з довідковими значеннями, дасть змогу точніше визначити температуру обстежуваного об'єкта. А це, в свою чергу, уточнить аналіз результатів обстеження.

Попередній розрахунок поправочних коефіцієнтів для кожної зони обстежуваного електрообладнання, виходячи з описаних вище кроків, є трудомістким процесом, але кінцевий результат, а саме урахування в результатах розрахунків відстані від точки огляду до контрольованих вузлів

електрообладнання, кута спостереження, виміряного коефіцієнта випромінювання, а також врахування швидкості вітру дозволить значно підвищити точність розрахунку дійсного значення температури контрольованих вузлів, що підвищить точність оцінки теплового стану, особливо в граничних випадках.

Точки обстеження електрообладнання варто вибирати, керуючись можливістю повного охоплення обстежуваного об'єкта, або складових частин у випадку каскадного чи модульного виконання, що визначається технічними характеристиками наявної тепловізійної техніки. Під час вибору точок обстеження важливо як найточніше визначити відстань від точки огляду до контрольованих вузлів електрообладнання (рис. 2а) та кут спостереження (рис. 2б), що особливо актуально для трансформаторного обладнання. Крім того, слід враховувати карту розподілу напруженості електричного поля, у випадку виконання обстежень на відкритих розподільчих пристроях електричних станцій та підстанцій, що дозволить зменшити шкідливий вплив на здоров'я персоналу, що виконує обстеження, в умовах електричних полів значної напруженості.

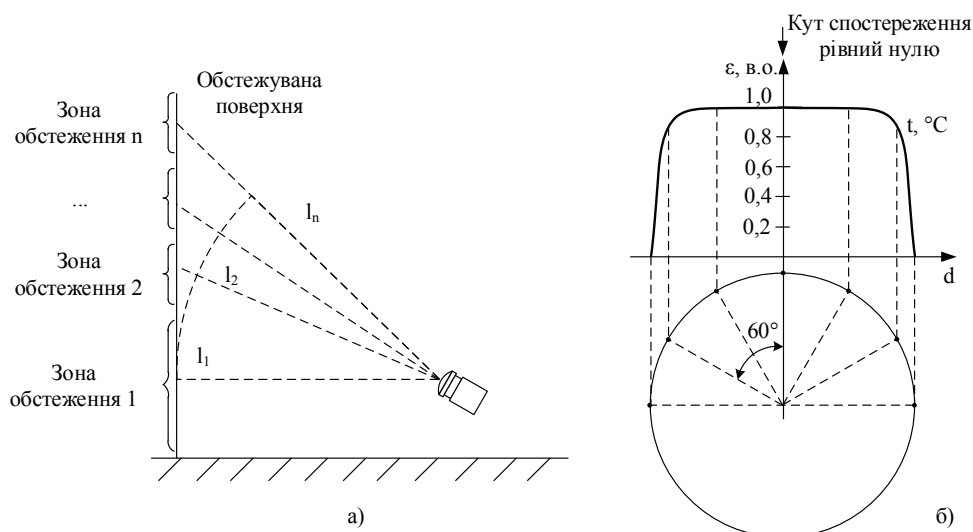


Рис. 2. Ілюстрація впливу: а — відстані від точки огляду до контрольованих вузлів електрообладнання; б — кута спостереження

Розробка та впровадження алгоритмів автоматизованого аналізу результатів термографічних обстежень є чи не найскладнішою з вищеперерахованих задач. Складність зумовлюється значною кількістю різнотипного обладнання, яке виготовлене в різний час, різними заводами-виробниками та має особливості конструкції, що впливають на результати діагностування. Крім того в, алгоритмах аналізу теплового стану електрообладнання потрібно враховувати і сучасний досвід, що накопичився у груп та дільниць термографічного контролю, вже після впровадження методичних вказівок [5].

Що стосується порівняння результатів тепловізійних обстежень, які були виконані за різних умов навколишнього середовища та в різні пори року, то звичайне порівняння з нормами граничного нагріву для того чи іншого елемента електрообладнання, або порівняння температури нагріву однотипних елементів різних фаз, буде малоефективним, оскільки не дасть виявити локальних температурних аномалій на ранній стадії їх розвитку. В такому випадку вважається доцільним використовувати порівняння температури нагріву елементів електрообладнання представлене у відносних одиницях, причому за базову температуру для потужного маслонаповненого електрообладнання (силові трансформатори, автотрансформатори, реактори) використовувати максимальну температуру, що вказують термосигналізатори, закладені до найгарячіших розрахункових точок обладнання, а для електрообладнання з фарфоровою ізоляцією та малопотужного силового маслонаповненого обладнання — температуру навколишнього середовища на момент вимірювання. [6]

В автоматизованій системі аналізу результатів тепловізійного контролю електрообладнання спеціалісту з тепловізійного контролю відводиться експертна роль, тобто перегляд та аналіз попередніх результатів, внесення додаткових правок та коментарів для формування кінцевого висновку про тепловий стан обладнання.

Автоматизований алгоритм аналізу результатів тепловізійного обстеження повинен містити операції збору інформації про погодні умови підчас обстеження, навантаження об'єкта на момент

обстеження, а також кути огляду елементів електрообладнання та відстані від точок огляду до відповідних елементів електрообладнання, виміряні температури елементів електрообладнання та зведені значення температур елементів обладнання минулих обстежень. Наступним кроком є розрахунок значень температури нагріву елементів електрообладнання з урахуванням зазначених поправок. Перевірка температури елементів електрообладнання на відповідність нормам нагріву визначатиме наявність явних дефектів, а порівняльний аналіз нагріву однакових елементів різних фаз дозволить локалізувати дефекти, що проявлятимуться на одній з фаз обладнання. Порівняння зведених температур нагріву елементів електрообладнання, отриманих за різних погодних умов, та режиму навантаження дозволить відслідкувати процес розвитку дефектів, або відкинути локальні температурні аномалії, зумовлені особливостями конструкції чи режиму навантаження. Формування і передача комплексу вихідних даних для комплексного аналізу з іншими результатами вимірювань є завершальною операцією алгоритму.

Узагальнений алгоритм автоматизованого аналізу результатів тепловізійного обстеження електрообладнання показано на рис. 3.

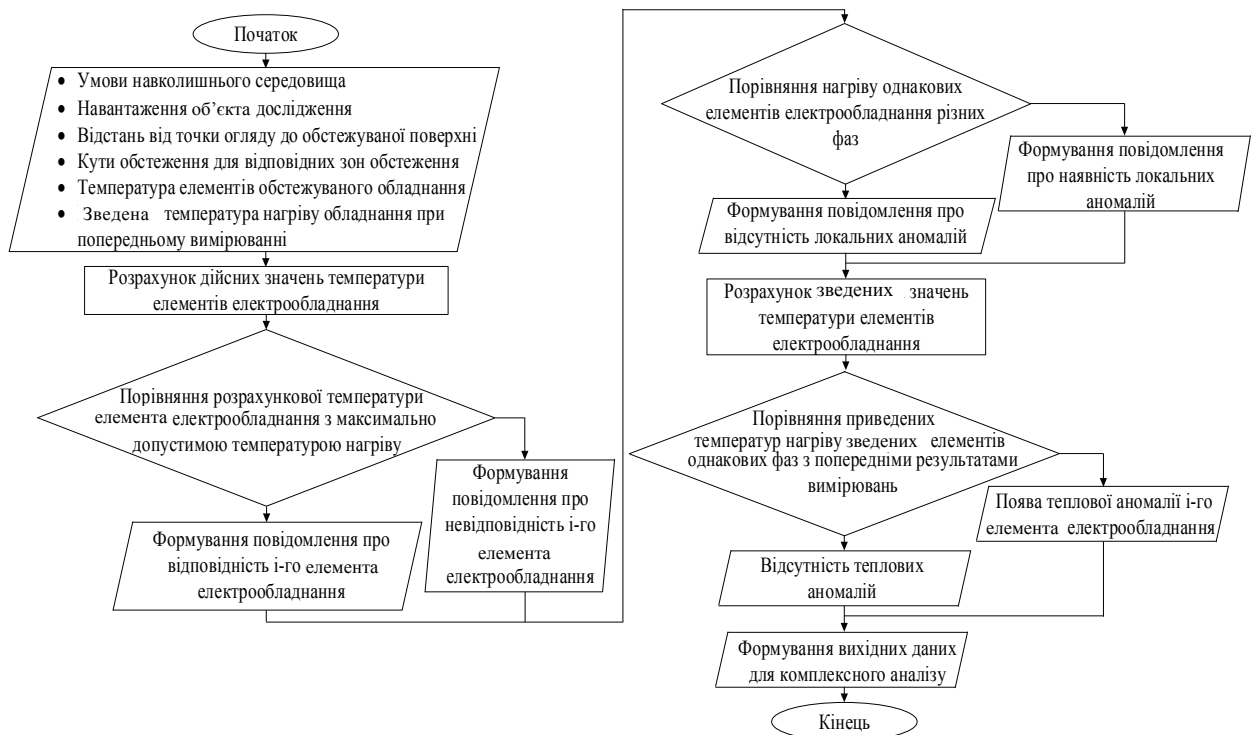


Рис. 3. Узагальнений алгоритм аналізу результатів тепловізійного обстеження електрообладнання

Висновки

Впровадження автоматизації обробки результатів діагностування електрообладнання загалом, та результатів термографічного контролю зокрема, є актуальною науково-практичною задачею, розв'язання якої дозволить підвищити якість технічного обслуговування, ремонтів, продовження строків експлуатації та оперативного керування електрообладнанням в умовах значного рівня старіння основних виробничих фондів електроенергетичних компаній. Для розв'язання поставленої задачі необхідно створити базу даних результатів випробувань та вимірювань, що дозволить систематизувати наявну та нову інформацію, а також розробити покращені алгоритми аналізу даних та визначення технічного стану обладнання.

Алгоритми аналізу даних термографічних обстежень повинні містити кроки, що дозволять виявляти на ранній стадії розвитку як локальні теплові аномалії, так і пришвидшення процесів старіння ізоляційної та електромагнітної систем електроустаткування. З цією метою, для аналізу результатів термографічних обстежень, запропоновано виконувати порівняння температури нагріву елементів електрообладнання представлене у відносних одиницях, що дозволить відлаштуватися від впливу на результати вимірювань умов навколишнього середовища. Як базову температуру запропоновано використовувати для потужного маслonaповненого електрообладнання (силові трансформатори, автотрансформатори, реактори) максимальну температуру, яку вказують термо-

сигналізатори, закладені до найнагіртіших розрахункових точок обладнання, а для електрообладнання з фарфоровою ізоляцією та малопотужного силового маслонаповненого обладнання — температуру навколишнього середовища на момент вимірювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Є. І. Удод, Р. М. Горбей, та В. Ф. Чернов, *Діагностування електроустановок 0,4–750 кВ засобами інфрачервоної техніки*. Київ, Україна: «КВІЦ», 2007, 370 с, ISBN 978-966-96441-8-3.
- [2] С. А. Бажанов, *Тепловизионный контроль электрооборудования в эксплуатации (Часть 1)*. Москва, Россия: НТФ «Энергопрогресс», 2005, 80 с, ISSN 0013-7278.
- [3] С. А. Бажанов, *Тепловизионный контроль электрооборудования в эксплуатации (Часть 2)*. Москва, Россия: НТФ «Энергопрогресс», 2005, 64 с, ISSN 0013-7278.
- [4] С. А. Бажанов, *Инфракрасная диагностика электрооборудования распределительных устройств*. Москва, Россия: НТФ «Энергопрогресс», 2000, 76 с, ISSN 0013-7278.
- [5] «Технічне діагностування електрообладнання та контактних з'єднань електроустановок і повітряних ліній електропередачі засобами інфрачервоної техніки», *COV-Н ЕЕ 20.577 : 2007*. Київ, Україна: ДП «НТУКЦ «АсЕлЕнерго». 2007, 123 с, ISBN 978-966-96441-7-6.
- [6] Мінпаливенерго України, «Норми випробування електрообладнання», *COV-Н ЕЕ 20.302 : 2007*. Київ, Україна: ГРІФРЕ : М-во палива та енергетики України. 2007, 262 с.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 21.05.2018

Кутін Василь Михайлович — д-р. техн. наук, професор, професор кафедри електричних станцій та систем. Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Шпачук Олександр Олександрович — інженер з налагодження та випробувань групи термографічного контролю та діагностики електрообладнання електричного цеху, e-mail: shpachuk2@gmail.com ;

Нікітчук Михайло Володимирович — електромонтер з випробувань та вимірювань групи термографічного контролю та діагностики електрообладнання електричного цеху;

Світко Володимир Мирославович — електромонтер з випробувань та вимірювань групи термографічного контролю та діагностики електрообладнання електричного цеху.

Відокремлений підрозділ «Хмельницька атомна електростанція»

V. M. Kutin¹
O. O. Shpachuk²
M. V. Nikitchuk²
V. M. Svitko²

Automation of the Analysis of the Thermal State of Electrical Equipment

¹Vinnitsia National Technical University;

²Separated subdivision «Khmelnitskyi Nuclear Power Plant»

The paper considers the main problems arising in the analysis of the thermal state of electrical equipment 0, 4...750 kV and proposes general approaches for the construction of an automated subsystem of the analysis of the thermal state of electrical equipment.

Development of an effective system for diagnosing and making decisions on the expediency of further exploitation of electrical equipment is relevant, given the significant lifetime of most electric power equipment of power plants and substations of Ukraine.

Diagnostic system should have the capability of automatic or automated collection and processing of the results of periodic electrical tests and measurements, the control of the level of partial discharges, the control of the level of free gases dissolved in the transformer oil, the control of the thermal state of the electrical equipment; to receive data on the mode of loading of the controlled equipment, weather conditions, passport data of the equipment; contain knowledge bases and algorithms for analysis of data of current measurements of controlled parameters and a set of measurements for the comprehensive determination of technical state of equipment.

It is advisable to use a comparison of the temperature of elements of the electrical equipment presented in relative units to compare the results of thermal imaging tests that were performed under different ambient conditions and in different seasons.

As the base temperature, it is proposed to use: for a powerful oil-filled electrical equipment (power transformers, auto-transformers, reactors), the maximum temperature indicated by the thermosensors is laid down to the most hot spot of

equipment, and for electrical equipment with porcelain insulation and low-strength power oil-filled equipment - the ambient temperature on measurement moment.

Keywords: technical condition, electrical equipment, current-carrying part, thermographic control, infrared technology.

Kutin Vasyl M. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Power Plants and Systems;

Shpachuk Oleksandr O. — Engineer for Adjustment and Testing of the Group of Thermographic Control and Diagnostics of Electrical Equipment, Electric Department, e-mail: shpachuk2@gmail.com;

Nikitchuk Mykhailo V. — Electrician for Tests and Measurements of the Group of Thermographic Control and Diagnostics of Electrical Equipment, Electric Department;

Svitko Volodymyr M. — Electrician for Tests and Measurements of the Group of Thermographic Control and Diagnostics of Electrical Equipment, Electric Department

В. М. Кутин¹
А. А. Шпачук²
М. В. Никитчук²
В. М. Свитко²

Автоматизация анализа теплового состояния электрооборудования

¹ Винницкий национальный технический университет

² Обособленное подразделение «Хмельницькая АЕС»

Рассмотрены основные проблемы, возникающие при анализе теплового состояния электрооборудования 0,4...750 кВ и предложены общие подходы к построению автоматизированной подсистемы анализа теплового состояния электрооборудования. Развитие эффективной системы диагностики и принятия решения о целесообразности дальнейшей эксплуатации электрооборудования является актуальным, учитывая значительный срок службы большинства электрооборудования электростанций и подстанций Украины. Система диагностики должна иметь возможность автоматического или автоматического сбора и обработки результатов периодических электрических испытаний и измерений, контроля уровня частичных сбросов, контроля уровня свободных газов, растворенных в трансформаторном масле, контроля за тепловым состоянием электрооборудования; получать данные о режиме загрузки контролируемого оборудования, погодные условия, паспортные данные оборудования; содержать базы знаний и алгоритмы для анализа данных текущих измерений управляемых параметров и набора измерений для комплексного определения технического состояния оборудования. Рекомендовано использовать сравнения температуры элементов электрического оборудования, представленного в относительных единицах, для сравнения результатов тепловых обследований электрооборудования, которые проводились в различных условиях окружающей среды и в разные сезоны. В качестве базовой температуры предложено использовать: для мощного маслонаполненного электрооборудования (силовых трансформаторов, автотрансформаторов, реакторов) максимальную температуру, определенную термодатчиками, установленными в наиболее горячей точке оборудования, а для электрооборудования с фарфоровой изоляцией и маломощного силового маслонаполненного оборудования — температуру окружающей среды на момент измерения.

Ключевые слова: техническое состояние, электрооборудование, токоведущая часть, термографический контроль, инфракрасная техника.

Кутин Василий Михайлович — д-р. техн. наук, профессор, профессор кафедры электрических станций и систем;

Шпачук Александр Александрович — инженер по наладке и испытаниям группы термографического контроля и диагностики электрооборудования электрического цеха, e-mail: shpachuk2@gmail.com ;

Никитчук Михаил Владимирович — электромонтер по испытаниям и измерениям группы термографического контроля и диагностики электрооборудования электрического цеха;

Свитко Владимир Мирославович — электромонтер по испытаниям и измерениям группы термографического контроля и диагностики электрооборудования электрического цеха