

Протипожежна превентивність об'єктів енергетики шляхом діагностика силового обладнання тепловізійними засобами

¹Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Запропоновано спосіб діагностики трансформаторів, що полягає в застосуванні тепловізійних приладів, що дозволяє загорятися на паливно-енергетичному комплексі та варіанти запобігання виходу обладнання з ладу, за рахунок виявлення несправностей на ранніх стадіях дефекту. Використовуючи запропоновану математичну модель та проводячи попередні вимірювання, персонал може отримати інформацію про стан до аварії.

Ключові слова: силовий трансформатор, паливно-енергетичний комплекс, найбільш нагріта точка, повітряна лінія електропередачі.

Abstract

The paper proposes a method of diagnostics of transformers, which consists in the use of thermal imaging devices, and helps to prevent failure of equipment due to the detection of malfunctions in the early stages of defect development. Using the proposed mathematical model and preliminary measurements, staff can obtain information on the condition of the equipment before the accident.

Key words: power transformer, fuel and energy complex, most heated point, overhead power line.

Вступ

На кожному об'єкті енергетики можна виділити ряд ключових елементів завдяки яким функціонує вся енергосистема, до таких належать силові трансформатори (СТ), вимикачі. Даний вид обладнання в своєму виконанні передбачає наявність мастила в якості діелектрика, що робить його вибухонебезпечним, через такі чинники як висока температура мастила під час роботи обладнання, та ефективна горючість діелектрика. Тому доцільним постає умова попередження таких вибухів. Виконання цієї умови можливе при підтриманні силового обладнання трансформаторних підстанцій в робочому стані без перегріву.

Важливим діагностичним параметром СТ який контролюється під час визначення його технічного стану є температура найбільш нагрітої точки обмотки, що відрізняється в залежності від виду охолодження трансформатора.

Результати досліджень

Під час роботи обладнання можливість оцінити актуальний стан обладнання не є завжди можливою, по причині відсутності наявних дефектів та неможливості вивести пристрої з роботи, що зображено на рис.1.

На рисунку зображено термограму діючого вимикача та його зовнішній вигляд. Як видно візуальне обстеження не дає змоги виявити несправність, але застосувавши засоби тепловізійного діагностування можна виявити дефект, зробити його опис та рекомендації що до усунення.

Відповідно до термограми робимо звіт про нагрів баку вимикача ф. "В", можливий внутрішній дефект контактної групи. Розвинутий ефект контактного з'єднання на МВ-35. Послаблене контактне з'єднання. Для усунення проблеми вимикач потрібно замінити.

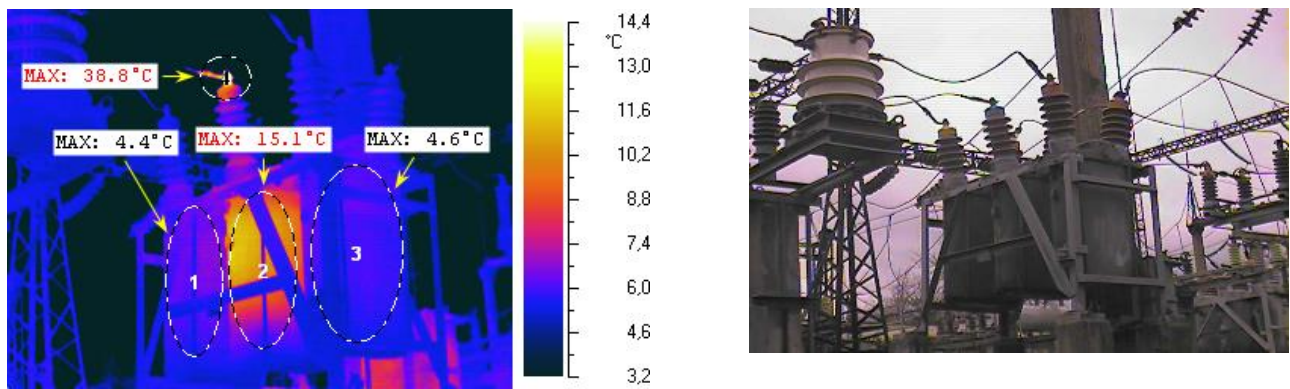


Рисунок 1 – Непрацюючий охолоджувач трансформатора
(камера під час знімання повернута вправо на 90°)

З метою оцінювання теплового стану трансформатора і розроблення в подальшому заходів щодо його покращення проведені дослідження в експлуатаційних умовах за допомогою тепловізора. На рис. 2.а приведена картина температурного поля при непрацюючому охолоджувачі на СТ однієї з підстанцій. Звертає увагу суттєва різниця температур окремих частин трансформатора, що свідчить про неоднорідність нагрівання. Відповідно для ефективного охолодження трансформатора потоки охолоджуючого повітря доцільно формувати таким чином, щоб відбір тепла був максимальний з найбільш нагрітих частин. Для цього певним чином необхідно налагодити роботу вентиляторів охолоджувача.

Проте не рівномірною температура поверхні є і тоді, коли нормально працюють всі елементи охолоджувача рис. 1.б. Це свідчить про те, що існуючу систему охолодження можливо і доцільно вдосконалювати. Щоб визначити напрям і способи яким чином це робити, необхідно дослідити теплообмінні процеси в конкретних умовах[1].

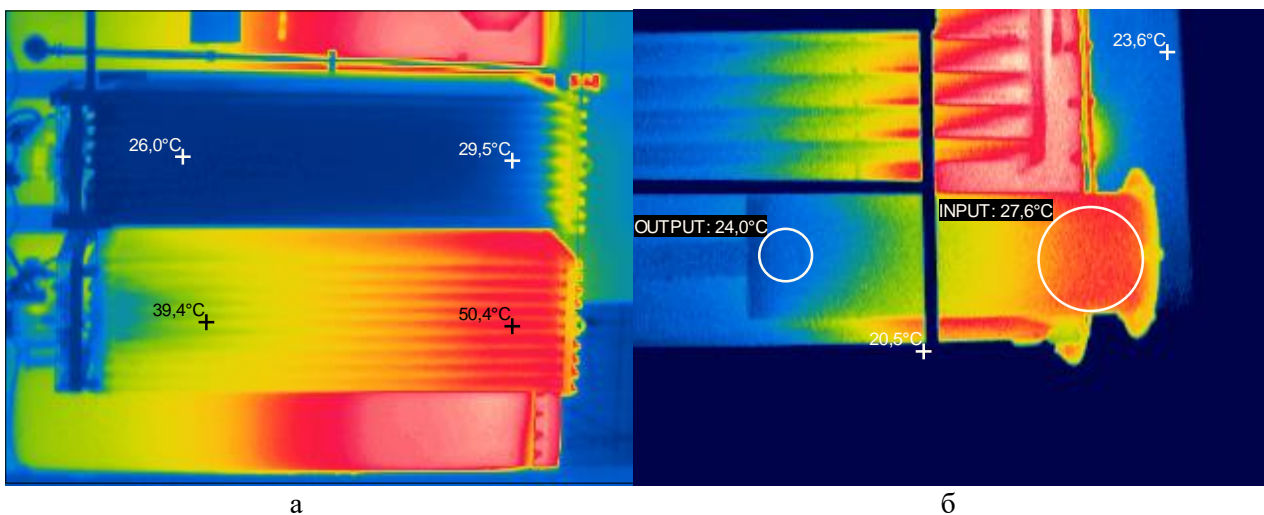


Рисунок 2 – Непрацюючий охолоджувач трансформатора
(камера під час знімання повернута вправо на 90°)

На ефективність охолоджувача впливає також робота масляної системи охолодження. Циркуляція оливи залежить від стану маслонасосів, електродвигунів, маслопроводів та радіаторів. Може погіршуватися функціонування окремих елементів маслосистеми, що по різному може

відображатися на системі охолодження трансформатора. На рис. 3 показано перевантажений і, як наслідок, перегрітий через зовнішні впливи електродвигун масляного насосу.



Рисунок 3 – Перегрітий електродвигун масляного насоса системи охолодження

Дослідити, як це впливає на систему охолодження трансформатора в цілому, можливо тільки за результатами моделювання.

Погіршення функціонування окремих елементів масляної системи охолодження призводить до порушення відбору тепла з різних частин об'єму трансформатора. З рис. 4 видно, що результатом цього є різна інтенсивність нагріву поверхні бака трансформатора. В свою чергу це означає, що по різному мають спрямовуватися потоки повітря вентиляторів охолоджувача.

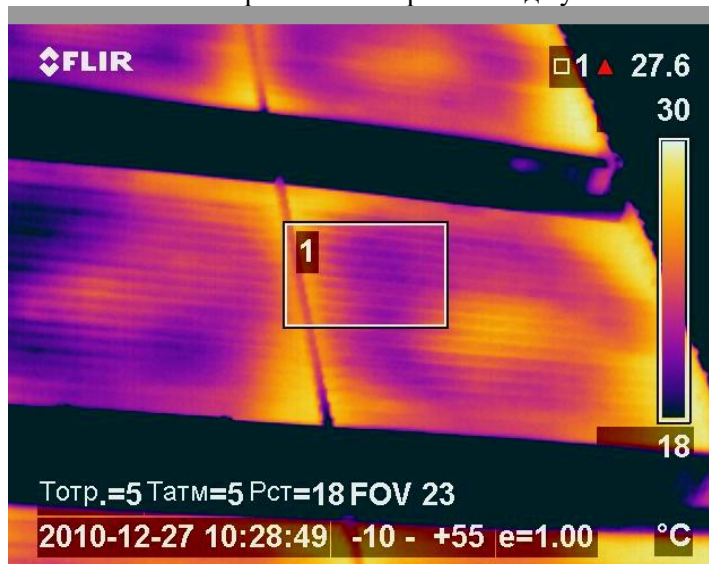


Рисунок 4 – Різниця в ефективності роботи радіаторів

Для виду охолодження *ON* максимальна температура найбільш нагрітої точки при будь-якому навантаженні *K* дорівнює сумі температури охолоджуючого середовища, перевищення температури оливи в верхніх шарах і різниці температур найбільш нагрітої точки і оливи. Математична модель записується у вигляді наступної формули:

$$\theta_h = \theta_a + \Delta\theta_{br} \left[\frac{1 + RK_2}{1 + R} \right] + H_{gr} K^y \quad (1)$$

Для виду охолодження *OF* метод розрахунку заснований на температурі оливи в нижній і середній частинах обмотки і середній температурі оливи. Таким чином, максимальна температура найбільш нагрітої точки при будь-якому навантаженні *K* рівна сумі температури охолоджуючого середовища, перевищення температури оливи в нижній частині обмотки, різниці температур оливи на виході із обмотки і в нижній частині, а також різниці температур найбільш нагрітої точки і оливи на виході із обмотки. Математична модель записується у вигляді наступної формули

$$\theta_h = \theta_a + \Delta\theta_{br} \left[\frac{1 + RK^2}{1 + R} \right] + 2[\Delta\theta_{imr} - \Delta\theta_{br}]K^y + H_{gr} K^y \quad (2)$$

Для виду охолодження *OD* метод розрахунку, в основному, такий же, як і для виду охолодження *OF*, за виключенням того, що до значення θ_h , додається поправка на зміну омичного опору обмоток від температури. Математична модель записується у вигляді наступної формули

$$\theta'_h = \theta_h + 0,15(\theta_h - \theta_{hr}) \quad (3)$$

де θ_h визначається за формулою 4 без врахування впливу зміни омичного опору:

$$\Delta\theta_{br} = \Delta\theta_{bi} + (\Delta\theta_{bu} - \Delta\theta_{bi})(1 - e^{-t/\tau_0}) \quad (4)$$

де $\Delta\theta_{bi}$ – початкове перевищення температури оливи в нижній частині;

$\Delta\theta_{bu}$ – встановлене перевищення температури оливи в нижній частині при навантаженні, що прикладається протягом цього інтервалу часу;

τ_0 – стала часу оливи

Параметри на основі яких проводяться розрахунки представлені в таблиці 1

Таблиця 1 – Теплові параметри трансформатора

Показник	Позначення	Трансформатори			
		розподільчі	середньої і великої потужності		
			ONAN	ON	OF
Показник ступеня оливи	x	0,8	0,9	1,0	1,0
Показник ступеня обмотки	y	1,6	1,6	1,6	2,0
Відношення втрат	R	5	6	6	6
Коефіцієнт температури найбільш нагрітої точки	H	1,1	1,3	1,3	1,3
Теплова стала часу оливи	τ_0 , ч	3,0	2,5	1,5	1,5
Температура охолоджуючого середовища	θ_a , °C	20	20	20	20
Перевищення температури найбільш нагрітої точки	$\Delta\theta_{hr}$, °C	78	78	78	78
Перевищення середньої температури обмотки	$\Delta\theta_{mr}$, °C	65	63	63	68
Градiєнт температури найбільш нагрітої точки (масло на виході із обмотки)	H_{gr} , °C	23	26	22	29
Перевищення середньої температури оливи	$\Delta\theta_{mr}$, °C	44	43	46	46
Перевищення температури оливи на виході із обмотки	$\Delta\theta_{ir}$, °C	55	52	56	49

В таблиці 1 наведені теплові характеристики, які використовувались при розрахунку допустимих навантажень справжнього стандарту. Варто відмітити, що якщо для трансформаторів великої потужності перевищення середньої температури обмотки при номінальному струмі дорівнює 65 °С для видів охолодження ON і OF і 70 °С – для виду охолодження OD, то в залежності від конструкції трансформатора перевищення температури найбільш нагрітої точки при номінальному струмі може скласти більше 78 °С [4;5].

Для видів охолодження ON значення $\Delta\theta_{ir}$ дорівнює $\Delta\theta_{or}$.

Поправки до математичних моделей.

Під час розрахунку максимальної температури найбільш нагрітої точки за приведеними вище формулами теоретично можна вводити різні поправки, наприклад, на зміну в залежності від температури:

а) навантажувальних втрат;

б) відношення омичних втрат і втрат на вихрові струми в обмотці;

в) в'язкості оливи.

Для видів охолодження ON і OF зміна в'язкості при зміні температури компенсується зміною опорів обмоток. В справжньому стандарті ці два явища не беруться до уваги.

Для виду охолодження OD вплив в'язкості оливи на перевищення температури незначний. Варто враховувати зміну омичного опору.

Висновки

Приведена математична модель дає можливість визначити розвиток дефекту СТ, попередити виникнення пожеж на об'єктах паливо-енергетичного комплексу, та проводити діагностування не припиняючи його роботу. Виходячи з результатів можна зробити висновок який з елементів охолодження трансформатора потребує модифікації, а який потрібно замінити. Також враховуючи систему охолодження та режим роботи трансформатора можливо визначити стан ізоляції і ймовірність виникнення пожежі

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Wolfe William L., Zissis George J.: The Infrared Handbook.- Office of Naval Research, Department of Navy, Washington, D.C. - 2008. - 311 p
2. Mading R.P.: Thermographic Instruments and Systems.- Madison, Wisconsin, University of Wisconsin- Extension, Department of Engineering and Applied Science
3. Шидловський А.К., Стогній Б.С. та ін. Паливно-енергетичний комплекс України в контексті глобальних енергетичних перетворень. - Київ: Українські енциклопедичні знання, 2004. - 468 с.
4. Wolfe William L.: Handbook of Military Infrared Technology, Office of Naval Research, Department of Navy, Washington, D.C. - 2012. - 472 p.
5. Mading R.P.: Thermographic Instruments and Systems.- Madison, Wisconsin, University of Wisconsin- Extension, Department of Engineering and Applied Science.
6. Vicek J.: Determination of Emissivity with Imaging Radiometers and Some Emissivities at $\lambda = 5$ microns.- Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.
7. Evans J.: Meteorology and Infrared Measurements.- Proc. SPIE "Thermosense IV", Vol. 313, USA, 1981.

Стискал Тетяна Олегівна – магістрантка групи ЕСМ-21м, кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: tanyastyskal@ukr.net

Томчук Микола Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, tomchuk@vntu.edu.ua.

Styskal Tatyana – student of the group ESM-21m, Faculty of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: : tanyastyskal@ukr.net

Tomchuk Mykola – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Life Safety and safety pedagogy, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, tomchuk@vntu.edu.ua