

# ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет

## Анотація

Розглянуто особливості експлуатації та технічного обслуговування силових трансформаторів електричних станцій. Проаналізовано основні режими роботи, контроль експлуатаційних параметрів, типові дефекти, методи діагностування ізоляції та заходи підвищення надійності трансформаторного обладнання.

**Ключові слова:** силовий трансформатор, експлуатація, технічне обслуговування, ізоляція, трансформаторне масло, діагностика, надійність.

## Abstract

The paper considers the operating features and maintenance of power transformers used at electric power plants. The main operating modes, monitoring of operating parameters, typical defects, insulation diagnostics methods and measures aimed at improving the reliability of transformer equipment are analyzed.

**Keywords:** power transformer, operation, maintenance, insulation, transformer oil, diagnostics, reliability.

## Вступ

Силові трансформатори є одними з найважливіших елементів електричних станцій, підстанцій та електричних мереж. Вони забезпечують перетворення рівнів напруги, передавання електричної енергії від джерела генерації до енергосистеми та надійне електропостачання споживачів. Для електричних станцій особливе значення мають блочні підвищувальні трансформатори, які працюють у складі схеми «генератор — трансформатор» і передають потужність енергоблока до мережі високої напруги [1, 2].

Надійність роботи трансформатора залежить від режиму навантаження, температури масла й обмоток, стану ізоляції, якості трансформаторного масла, справності вводів, системи охолодження та пристроїв релейного захисту. Пошкодження трансформатора може призвести до обмеження видачі потужності, тривалого ремонту та значних економічних втрат. Тому питання експлуатації, технічного обслуговування та діагностування силових трансформаторів є актуальними для сучасної електроенергетики.

Метою роботи є узагальнення особливостей експлуатації силових трансформаторів та визначення основних заходів технічного обслуговування, спрямованих на підвищення їх надійності.

## Результати дослідження

У процесі експлуатації силовий трансформатор може працювати в нормальному тривалому режимі, режимі змінного навантаження, холостого ходу, короткочасного перевантаження, а також у перехідних і аварійних режимах. Основним для трансформаторів електричних станцій є тривалий режим передавання потужності, за якого параметри навантаження, температури та напруги не повинні перевищувати допустимі значення [3].

Для оцінювання навантаження трансформатора використовують коефіцієнт завантаження

$$k_z = S / S_n,$$

де  $S$  — фактична повна потужність, що передається трансформатором;  $S_n$  — номінальна потужність трансформатора. Якщо  $k_z$  менший за одиницю, трансформатор працює без перевантаження; якщо  $k_z$  перевищує одиницю, виникає режим перевантаження, допустимість якого визначається тривалістю, температурою охолоджувального середовища та станом ізоляції [3].

Втрати активної потужності в трансформаторі складаються з втрат холостого ходу та навантажувальних втрат:

$$\Delta P = \Delta P_0 + \Delta P_k \cdot k_z^2,$$

де  $\Delta P_0$  — втрати холостого ходу;  $\Delta P_k$  — втрати короткого замикання при номінальному навантаженні. Оскільки навантажувальні втрати залежать від квадрата струму, навіть незначне перевищення навантаження може спричинити істотне зростання тепловиділення в обмотках.

Одним із найважливіших факторів, що впливають на строк служби трансформатора, є температурний режим. Підвищення температури масла й обмоток прискорює старіння целюлозної ізоляції, погіршує властивості трансформаторного масла та зменшує залишковий ресурс обладнання. Тому під час експлуатації необхідно контролювати температуру верхніх шарів масла, температуру обмоток, роботу вентиляторів, насосів, радіаторів і пристроїв автоматичного керування охолодженням [4].

Таблиця 1 - Основні параметри контролю технічного стану силового трансформатора

Параметр контролю	Діагностичне значення	Можливі ознаки дефекту
Температура масла й обмоток	Оцінювання теплового режиму	Перегрів, відмова охолодження, перевантаження
Рівень і якість масла	Оцінювання ізоляційної та охолоджувальної здатності	Витік масла, зволоження, старіння, продукти розкладання
Опір ізоляції, R60/R15	Оцінювання зволоження та забруднення ізоляції	Зниження опору, погіршення коефіцієнта абсорбції
$\text{tg}\delta$ та ємність ізоляції	Виявлення старіння або зволоження ізоляції	Зростання діелектричних втрат, зміна ємності
Стан вводів і контактів	Виявлення локальних дефектів	Перегрів, корона, тріщини, забруднення, перекриття

Важливою складовою технічного обслуговування є контроль трансформаторного масла. Масло виконує одночасно ізоляційну й охолоджувальну функції, тому його погіршення може свідчити про перегрів, зволоження ізоляції, часткові розряди або внутрішні електричні дефекти. Для оцінювання стану масла застосовують визначення електричної міцності, кислотного числа, вмісту вологи, міжфазного натягу та хроматографічний аналіз розчинених газів [5].

Хроматографічний аналіз розчинених газів є ефективним методом раннього виявлення внутрішніх пошкоджень. Підвищення концентрації водню, метану, етилену, ацетилену, оксидів вуглецю та інших газів може свідчити про часткові розряди, перегрів, іскріння або дугові процеси. Для уточнення характеру дефекту результати аналізу масла доцільно розглядати разом із даними тепловізійного контролю, акустичного контролю, вимірювання опору ізоляції,  $\text{tg}\delta$  та ємності ізоляції [5].

Під час оперативного обслуговування персонал виконує планові та позачергові огляди трансформатора. Перевіряються стан вводів і зовнішньої ізоляції, відсутність тріщин і забруднень, рівень масла в баку та розширювачі, робота газового реле, стан ущільнень, відсутність течі масла, робота системи охолодження, характер шуму та вібрації. Позачергові огляди проводять після грози, сильного вітру, ожеледі, різкого зниження температури, спрацювання газового реле або проходження кризового короткого замикання.

Типовими дефектами силових трансформаторів є перегрів обмоток і магнітопроводу, зволоження або старіння ізоляції, погіршення якості масла, пошкодження вводів, ослаблення контактних з'єднань, порушення роботи системи охолодження, деформація обмоток після коротких замикань та часткові розряди. Їх своєчасне виявлення дозволяє запобігти аварійному розвитку дефекту та продовжити строк служби обладнання.

Для підвищення надійності силових трансформаторів необхідно застосовувати комплексний підхід до технічного обслуговування. Він передбачає регулярний контроль режимних параметрів, аналіз тенденцій зміни діагностичних показників, своєчасне очищення та перевірку системи охолодження, контроль стану масла й ізоляції, тепловізійне обстеження контактних з'єднань і вводів, перевірку релейного захисту та дотримання вимог безпеки під час оперативних перемикань.

### Висновки

Розглянуто особливості експлуатації та технічного обслуговування силових трансформаторів електричних станцій. Встановлено, що надійність трансформаторного обладнання визначається режимом навантаження, температурним станом, якістю масла, станом ізоляції, вводів, системи охолодження та пристроїв захисту.

Показано, що ефективне технічне обслуговування має базуватися на комплексному контролі параметрів трансформатора: температури, навантаження, рівня масла, опору ізоляції,  $\text{tg}\delta$ , ємності ізоляції, результатів хроматографічного аналізу газів, тепловізійного та акустичного контролю.

Запропоновано узагальнений підхід до підвищення надійності силових трансформаторів, який передбачає своєчасне виявлення дефектів, аналіз динаміки діагностичних показників, регулярні огляди, планове технічне обслуговування та дотримання вимог безпечної експлуатації.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила улаштування електроустановок. — Харків: Форт, 2017.
2. Кідиба В. П. Електрична частина станцій та підстанцій. — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018.
3. ДСТУ ІЕС 60076-7:2016. Трансформатори силові. Частина 7. Настанова щодо навантаження для масляних силових трансформаторів. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.
4. Transformers: Basics, Maintenance, and Diagnostics. — U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 2005. — 255 p.
5. IEC 60599:2022. Mineral oil-filled electrical equipment in service — Guidance on the interpretation of dissolved and free gases analysis. — International Electrotechnical Commission, 2022.

**Каракой Дмитро Олександрович** — студент групи 2ЕС-22б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Науковий керівник: **Собчук Наталія Володимирівна** — канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Karakoi Dmytro O.** — student of group 2ES-22b, Faculty of Electric Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: **Sobchuk Nataliia V.** — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Department of Electric Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.