## DOI: 10.20998/EREE.2024.2(9).319068

## УДК 621.314.2

ШЕВЧЕНКО СЕРГІЙ ЮРІЙОВИЧ – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри передачі електричної енергії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків, Україна; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9658-7787; e-mail: Sergii.Shevchenko@khpi.edu.ua.

ДАНИЛЬЧЕНКО ДМИТРО ОЛЕКСІЙОВИЧ ⊠ – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри передачі електричної енергії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків, Україна; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7912-1849; e-mail: Dmytro.Danylchenko@khpi.edu.ua.

*ГАНУС РОМАН ОЛЕКСІЙОВИЧ* – аспірант кафедри передачі електричної енергії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків, Україна; ORCID: https://orcid.org/0009-0001-2442-6087; e-mail: mrgans.roma@gmail.com.

## РОЗРОБКА ТЕПЛОВОЇ МОДЕЛІ МАСЛОНАПОВНЕНОГО ТРАНСФОРМАТОРА В СЕРЕДОВИЩІ ANSYS

У роботі детально розглянуто моделювання теплових режимів підземної підстанції з використанням програмного середовища Ansys. Основна увага приділена маслонаповненому трансформатору ТРДН-63000/110, для якого створено спрощену геометричну модель у модулі Design Modeler. Моделювання теплових процесів виконано в Ansys Steady-State Thermal із використанням трикутної сітки та налаштуванням параметрів матеріалів, таких як теплопровідність і властивості охолоджувального середовища. У дослідженні проаналізовано режими роботи трансформатора: коротке замикання, холостий хід та перехідні стани. У режимі короткого замикання результати моделювання показали, що при використанні трансформаторної оливи максимальна температура активної частини знижується до діапазону 67–91 °C, що є значно нижчим, ніж у випадку повітряного охолодження, коли температура перевищувала допустимі значення (225 °C). У режимі холостого ходу максимальна температура трансформатора склала лише 35 °C, що свідчить про ефективність масянного охолодження навіть при мінімальних енергетичних навантаженнях. Особливу увагу приділено дослідженню залежності максимальної температура прямо пропорційно залежить від навантаження та густини теплових потоків у різних режимах роботи. Показано, що максимальна температура прямо пропорційно залежить від навантаження та густини теплових потоків, а найбільша інтенсивність тепловіддачі спостерігається поблизу обмоток. Отримані результати дозволяють оцінити ефективність тепловіддачі трансформатора та його вплив на тепловий баланс приміщення підстанції. Дані моделювання можуть бути використані для вдосконалення конструкції трансформаторів, оптимізації систем охолодження та застосування надійної роботи енергетичного обладнання в умовах підземних підстанцій. Проведене дослідження підкреслює важливість застосування сучасних чисельних методів для аналізу теплових характеристик трансформаторів і їх адаптації до складних умов експлуатації.

Ключові слова: теплове моделювання; Ansys Steady-State Thermal; маслонаповнений трансформатор; підземна підстанція; теплові режими; охолодження трансформатора.

Вступ. Ефективність роботи енергетичного обладнання, зокрема трансформаторів, значною мірою залежить від точності моделювання теплових та електромагнітних процесів. Сучасні підземні підстанції характеризуються підвищеними вимогами до тепловіддачі, що зумовлено обмеженим простором для природного охолодження та високими енергетичними навантаженнями.

Для оптимізації експлуатаційних характеристик трансформаторів необхідно враховувати складні теплові режими роботи, зокрема в умовах перевантаження чи короткого замикання. Традиційні методи розрахунку часто не враховують динаміку теплових перехідних процесів, що може призводити до заниження граничних температур.

Метою даного дослідження є розробка та аналіз теплової моделі маслонаповненого трансформатора ТРДН-63000/110 із використанням програмного середовища Ansys. Використання сучасних чисельних методів моделювання дозволяє провести детальний аналіз теплових процесів у різних режимах роботи, оцінити вплив охолоджувальних середовищ та запропонувати шляхи для підвищення ефективності тепловіддачі трансформатора в умовах підземної підстанції. Мета статті. Метою статті є розробка та аналіз теплової моделі маслонаповненого трансформатора ТРДН-63000/110 у середовищі Ansys для дослідження теплових режимів його роботи, визначення залежності максимальної температури активних елементів від робочих умов та оцінки ефективності використання різних охолоджувальних середовищ у підземних підстанціях.

Теплова модель маслонаповненого трансформатора. Одним з найбільш важливих параметрів, що визначають ресурс трансформатора, є значення температури найбільш гарячої точки, яка, у свою чергу, визначається щільністю теплових потоків. У роботах [1-4] показано, що максимальна температура є функцією навантажень, перевантажень, режимів охолодження та часу. Також помічено [5-8], що традиційні методи розрахунку дають занижені значення максимальних температур, особливо в тих випадках, коли теплові перехідні процеси не досягли станів, що встановилися.

Як об'єкт дослідження обрано стрижневий маслонаповнений трифазний трансформатор ТРДН-63000/110, параметри якого представлені в табл. 1.

Розрахунок основних електричних величин та геометричних розмірів трансформатора, необхідних

© С. Ю. Шевченко, Д. О. Данильченко, Р. О. Ганус, 2024

С В С Конфлікт інтересів: Автори заявили про відсутність конфлікту

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність, № 2 (9) 2024

для моделювання здійснено у наступному розділі статті [9].

Тип трансформатора	ТРДН-63000/110
Потужність, МВА	63
Число фаз	3
Первинна напруга, В	115000∓(9×1,78 %)
Вторинна напруга, В	10500
Система охолодження	Масляна з дуттям
Схема та група з'єднання обмоток	Ун/Д-Д-11-11
Напруга короткого замикання	10,5 %
Струм холостого ходу	0,3 %
Втрати холостого ходу, кВт	49,6
Втрати короткого замикання, кВт	240

Таблиця 1 – Електричні характеристики трансформатору

Як обмотки високої напруги (ВН) і низької напруги (НН) прийняті циліндричні багатошарові обмотки з круглого дроту (рис. 1).



Рисунок 1 – Головна ізоляція обмоток

Для обмотки ВН  $U_{випроб1} = 200 \text{ kB}$  визначено наступні ізоляційні відстані:  $a_{12} = 50 \text{ мм}$ ;  $l'_0 = 75 \text{ мм}$ ;  $l''_0 = 205 \text{ мм}$ ;  $a_{13} = 50 \text{ мм}$ ;  $a_{33} = 35 \text{ мм}$ .

Для обмотки HH  $a_{0u} = 8$  мм; паперово-бакелітовий циліндр  $\delta_{02}=10$  мм; канал між циліндром та обмоткою HH для розміщення відводів HH від середини її висоти  $a_{v2} = 25$  мм. Всього  $a_{01} = 43$  мм.

Вибрана стрижнева конструкція з числом 6,  $k_{kr} = 0,913$  без пресуючої пластини. При потужності 63000 кВА охолоджуючі канали в магнітопроводі не передбачаються [10]. В якості матеріалу магнітної системи трансформатора приймається холоднокатана електрична сталь марки 3404 з густиною 7650 кг/м<sup>3</sup>.

Діаметр стрижня сердечника d = 0,150 мм. Коефіцієнт приведення ідеального поля розсіювання до реального поля  $k_p \approx 0,95$ .

Середній діаметр каналу між обмотками *d*<sub>12</sub> = 0,227 м.

Висота обмотки l = 0,263 м. Активний переріз стрижня  $\Pi_c = 0,0153$  м<sup>2</sup>.

Число витків обмоток НН, що припадає на одну фазу  $w_2 = 327$ .

Провід обмотки ПВ діаметром 3,55 мм з перетином 9,895 мм<sup>2</sup>.

Число витків у шарі  $w_{u2} = 65,48$ . Число шарів в обмотці  $n_{u2} = 5$ .

Розміри обмотки НН – внутрішній діаметр  $D_{2min} = 180$  мм, зовнішній діаметр  $D_{2max} = 1,2336$  мм. Площа поверхні обмотки НН  $\Pi_2 = 0,324$  мм<sup>2</sup>.

Втрати короткого замикання  $P_{k2} = 240000$  Вт, маса проводу обмотки НН  $G_2 = 13567$  кг.

## Моделювання теплових режимів маслонаповненого трансформатора.

Створення моделі. Моделювання теплообміну та гідродинаміки проведено середовищі в трансформатора в пакеті програм вільно розповсюджуваної версії Ansys 17.1 (Ansys Free Student Product Downloads). З огляду на те, що точний розрахунок маслонаповненого трансформатора обмежений обчислювальними ресурсами комп'ютера, використано спрощену модель трансформатора ТРДН-63000/110.

В якості НН і ВН, а також обмотки ізоляції прийнято циліндричні поверхні, які створюються в модулі створення геометрії Design Modeler програми Ansys 17.1 [11]. Попередньо створюється ескіз, який потім перетворюється в об'ємну фігуру за допомогою операції Extrude. Створені таким чином моделі обмоток НН і ВН трансформатора та ізоляції для однієї фази відповідно до розрахункової геометрією показано на рис. 2.





Рисунок 2 – Модель обмоток однієї фази (*a*) та активної частини (б) трансформатора ТРДН-63000/110, створена в Design Modeler програми Ansys 17.1

Аналогічно задається теплопровідність поздовжньої ізоляції  $\lambda = 0,17$  Вт/(м·К) у модельованому трансформаторі (рис. 3).

Graphics Properties		
Definition		
Suppressed	No	
Stiffness Behavior	Flexible	
Coordinate System	Default Coordinate System	
Reference Temperature	By Environment	
Behavior	None	
Material		
Assignment	Copper	
Nonlinear Effects	Yes	

+	<b>Graphics Properties</b>		
	Definition		
	Suppressed	No	
	Stiffness Behavior	Flexible	
	Coordinate System	Default Coordinate System	
	Reference Temperature	By Environment	
	Behavior	None	
Ξ	Material		
	Assignment	Structural Steel	
	Nonlinear Effects	Yes	

б

Graphics Properties		
Definition		
Suppressed	No	
Stiffness Behavior	Flexible	
Coordinate System	Default Coordinate System	
Reference Temperature	By Environment	
Behavior	None	
Material		
Assignment	Engine Oil	
Nonlinear Effects	Yes	

в

Рисунок 3 – Вікно введення властивостей матеріалу обмоток (*a*), сердечника (б) та охолоджуючого середовища (в)

Далі в Ansys Steady-State Thermal задається розрахункова сіткова область Mesh, яка розраховується автоматично на підставі геометричної моделі (рис. 4). Застосовувалася трикутна сітка, мінімальний розмір якої 5 мм, обмежується версією використовуваного обчислювального пакета.

**Режим короткого замикання.** Режим короткого замикання задається в Ansys Steady-State Thermal шляхом зазначення питомих теплових потоків q (Heat Flux). Щільність теплового потоку на поверхні обмотки HH у режимі короткого замикання

 $q_{2_{K3}} = 107139,6$  Вт/м<sup>2</sup> з обмотки ВН –  $q_{2_{K3}} = 58632,2$  Вт/м<sup>2</sup>.





Також для коректного моделювання в модель вводиться умова передавання теплоти конвекцією (Convection) і позначаємо всі межі між рідиною і твердим тілом за допомогою інструменту Fluid Solid Interface.

Спочатку для перевірки роботи активної частини трансформатора та поздовжньої ізоляції проводиться моделювання за відсутності заповнення трансформатора маслом, тобто за повітряного охолодження. Розподіл температур у різних областях трансформатора поблизу активної частини, отриманий у результаті моделювання представлено на рис. 5, а розподіл щільності теплових потоків – на рис. 6.

З представлених скріншотів зрозуміло, що в разі охолодження повітрям температури, за яких працює трансформатор, виявляються істотно вищими за допустимі 144–235 °C. Температура найгарячіших точок відповідає приблизно 225 °C і характерна для обмотки НН, також високою виявляється температура сердечника t = 210 °C. Завдяки наявності ізоляції температура обмоток ВН виявляється істотно нижчою, але, проте, також перевищує допустиме значення. Найбільша щільність теплових потоків, як і слід було очікувати, виявляється поблизу обмоток, у міру віддалення ж від них інтенсивність теплових потоків швидко зменшується.

Проведено аналогічне моделювання роботи в режимі короткого замикання за умови масляного наповнення трансформатора. Розподіл температур і щільності теплових потоків показано на рис. 7 і 8.

Рис. 7 і 8 свідчать, що використання трансформаторного масла для наповнення трансформатора суттєво зменшує температури в активній частині. Розподіл температур займає діапазон 67–91 °С. Відповідно температура найбільш нагрітої частини дорівнює 91 °С і також відповідає обмотці НН.

# ISSN 2224-0349 (print)



Рисунок 5 – Розподіл температур в трансформаторі в поздовжньому (*a*) та поперечному (*б*) розрізі при роботі в режимі короткого замикання; охолоджуюче середовище – повітря



Рисунок 6 – Розподіл щільності теплового потоку в трансформаторі в поздовжньому (*a*) і поперечному (δ) розрізі під час роботи в режимі короткого замикання; охолоджувальне середовище – повітря



Рисунок 7 – Розподіл температур у трансформаторі в поздовжньому (*a*) і поперечному (б) розрізі під час роботі в режимі короткого замикання; охолоджувальне середовище – трансформаторне масло





Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність, № 2 (9) 2024 **Режим холостого ходу.** Втрати в режимі холостого ходу для трансформатора TM-63000/110 становлять 49,6 кВт. Відповідні щільності теплового потоку обмоток трансформатора для обмотки HH  $q_{\rm HH}^{\rm XX} = 22077,7$  Вт/м<sup>2</sup>, відповідно BH  $q_{\rm BH}^{\rm XX} = 11126,5$  Вт/м<sup>2</sup>.

Параметри Heat Flux i Heat Flux2 змінюються відповідно до цих даних і проводиться моделювання в Ansys Steady-State Thermal. Результати свідчать про те, що під час роботи в режимі холостого ходу за повітряного охолодження виявляються в допустимих межах, а й за масляного охолодження — істотно нижчими за номінальні. Максимальна температура в маслонаповненому трансформаторі в режимі холостого ходу становить лише 35 °С.

Залежність максимальної температури трансформатора від режиму роботи. Для дослідження залежності максимальної температури трансформатора ТМ-63000/110 від режиму його роботи проведено моделювання діапазоні втрат від в холостого ходу (50 кВт) до короткого замикання (245 кВт). Відповідні розподіли температур представлені на рис. 9-11.

Результатами моделювання відобразимо у табл. 2, в якій наведені залежності щільності теплових потоків ВН та НН до максимальної температури.



Рисунок 9 – Розподіл температур у маслонаповненому трансформаторі в поздовжньому (*a*) і поперечному (*б*) розрізі за втрат Р = 245000 Вт



Рисунок 10 – Розподіл температур у маслонаповненому трансформаторі в поздовжньому (*a*) і поперечному (*б*) розрізі за втрат Р = 124000 Вт



Рисунок 11 – Розподіл температур у маслонаповненому трансформаторі в поздовжньому (*a*) і поперечному (*б*) розрізі за втрат Р = 89600 Вт

Щільність теплового потоку обмотки НН, Вт/м <sup>2</sup>	Щільність теплового потоку обмотки ВН, Вт/м <sup>2</sup>	Максимальна температура, °С
240000	107139,6	91
202872	90567,85	81
163200	72857,14	69
120000	53571,42	57
79200	35357,14	46
49602	22077,75	35

Таблиця 2 – Результати моделювання

Наведені дані дозволяють визначити подальшу тепловіддачу трансформатора в приміщення підстанції.

Висновки. У рамках дослідження було створено та проаналізовано теплову модель маслонаповненого трансформатора ТРДН-63000/110 із використанням програмного середовища Ansys. Отримані результати дозволяють зробити такі висновки.

*Ефективність моделювання.* Використання Ansys Steady-State Thermal забезпечило точну оцінку розподілу температур і теплових потоків у трансформаторі за різних режимів роботи, включаючи коротке замикання та холостий хід.

**Вплив охолоджувального середовища.** У режимі короткого замикання застосування трансформаторної оливи дозволило суттєво знизити температуру активної частини до допустимого діапазону (67–91 °C), що підтверджує ефективність масляного охолодження порівняно з повітряним.

**Температурні залежності.** Дослідження показало, що максимальна температура трансформатора прямо пропорційно залежить від щільності теплових потоків і умов навантаження. Найвища температура (91 °C) спостерігалася при максимальних навантаженнях, тоді як у режимі холостого ходу вона становила лише 35 °C.

*Практична значущість.* Результати моделювання можуть бути використані для оптимізації конструкції трансформаторів, визначення ефективних методів охолодження та забезпечення надійної роботи енергетичного обладнання в умовах підземних підстанцій.

Таким чином, проведене дослідження підтверджує важливість застосування сучасних інструментів чисельного моделювання для аналізу теплових характеристик трансформаторів та їх адаптації до особливих умов експлуатації.

### Список літератури

- 1. Temperature rise test and thermal-fluid coupling simulation of an oilimmersed autotransformer under DC bias / M. Li et al. *IEEE Access*. 2021. Vol. 9. P. 32835–32844. DOI: https://doi.org/10.1109/access.2021.3060632.
- Bokes P. Models, simulations and the reality of temperature rise in oil-filled transformers. *Applied Physics of Condensed Matter* (*APCOM 2019*): AIP Conference Proceedings 2131, Strbske Pleso, Slovak Republic, 19–21 July 2019. 2019. DOI: https://doi.org/10.1063/1.5119455.
- 3. Condition monitoring of in-service oil-filled transformers: case studies and experience / U. M. Rao et al. *IEEE Electrical Insulation*

*Magazine*. 2019. Vol. 35, no. 6. P. 33–42. DOI: https://doi.org/10.1109/mei.2019.8878258.

- Данильченко Д. О., Потривай А. Е. Система динамічного прогнозування технічного стану обладнання Об'єднаної електроенергетичної системи. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. 2023. № 1 (6). С. 16–21. DOI: https://doi.org/10.20998/2224-0349.2023.01.10.
- Experimental investigation on formation mechanism of jet fires in transformer oil filled equipment with external thermal load / R. Sun et al. *Combustion Science and Technology*. 2022. Vol. 196, no. 14. P. 1–25. DOI: https://doi.org/10.1080/00102202.2022.2161302.
- Thermal diagnostics of oil-filled equipment under operating voltage / B. R. Kangozhin et al. *Physical Sciences and Technology*. 2019. Vol. 6, no. 3-4. P. 54–59. DOI: https://doi.org/10.26577/phst-2019-2p7.
- Моделювання електричного поля прохідного полімерного ізолятора в програмному середовищі Ansys Maxwell / С. Ю. Шевченко та ін. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. 2022. № 1 (4). С. 79–85. DOI: https://doi.org/10.20998/2224-0349.2022.01.05.
- Computational fluid dynamics and thermal hydraulic modelling approaches for calculation of thermal performance of oil-filled distribution transformers with corrugated walls / C. Wang et al. *Transformer research and asset management* : Cigre SC A2 & 6th International Colloquium, Split, Croatia, 29 November – 2 December 2023.
- Мешков Т. Д., Данильченко Д. О., Вольтер М. Дослідження теплового стану трансформатора в залежності від режиму роботи. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. 2024. № 1 (8). С. 73–77. DOI: https://doi.org/10.20998/2224-0349.2024.01.12.
- Nonsinusoidal load current effect on the electrical and thermal operating parameters of oil filled power distribution transformers / E. Cazacu et al. 2018 18th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), Ljubljana, Slovenia, 13–16 May 2018. DOI: https://doi.org/10.1109/ichqp.2018.8378838.
- Seddik M. S., Shazly J., Eteiba M. B. Thermal analysis of power transformer using 2D and 3D finite element method. *Energies*. 2024. Vol. 17, no. 13. 3203. DOI: https://doi.org/10.3390/en17133203.

#### References

- M. Li, Z. Wang, J. Zhang, Z. Ni, and R. Tan, "Temperature rise test and thermal-fluid coupling simulation of an oil-immersed autotransformer under DC bias", *IEEE Access*, vol. 9, pp. 32835– 32844, 2021, doi: https://doi.org/10.1109/access.2021.3060632
- 2. P. Bokes, "Models, simulations and the reality of temperature rise in oil-filled transformers", in *Applied Physics of Condensed Matter (APCOM 2019)*, Strbske Pleso, Slovak Republic, Jul. 19–21, 2019. AIP Publ., 2019, doi: https://doi.org/10.1063/1.5119455
- U. M. Rao, I. Fofana, A. Betie, M. L. Senoussaoui, M. Brahami, and E. Briosso, "Condition monitoring of in-service oil-filled transformers: Case studies and experience", *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 35, no. 6, pp. 33–42, Nov. 2019, doi: https://doi.org/10.1109/mei.2019.8878258
- D. Danylchenko and A. Potryvai, "System for dynamic prediction of the technical condition of the equipment of a combined electric power system", *Bulletin of the National Technical University "KhPI"*. *Series: Energy: Reliability and Energy Efficiency*, no. 1 (6), pp. 16– 21, Jul. 2023, doi: https://doi.org/10.20998/2224-0349.2023.01.10 (in Ukrainian)
- R. Sun, P. Chen, L. Li, Y. Liu, and X. Zhai, "Experimental investigation on formation mechanism of jet fires in transformer oil filled equipment with external thermal load", *Combustion Science and Technology*, vol. 196, no. 14, pp. 1–25, Dec. 2022, doi: https://doi.org/10.1080/00102202.2022.2161302
- B. R. Kangozhin, S. S. Dautov, M. S. Zharmagambetova, and M. A. Kosilov, "Thermal diagnostics of oil-filled equipment under operating voltage", *Physical Sciences and Technology*, vol. 6, no. 3-4, pp. 54–59, Dec. 2019, doi: https://doi.org/10.26577/phst-2019-2p7
- S. Yu. Shevchenko, D. O. Danylchenko, A. E. Potryvay, S. I. Dryvetsky, and V. M. Tsyupa, "Simulation of the electric field

of a polymer bushing in the Ansys Maxwell software environment", *Bulletin of the National Technical University "KhPI"*. *Series: Energy: Reliability and Energy Efficiency*, no. 1 (4), pp. 79– 85, Jul. 2022. Accessed: Dec. 27, 2024, doi: https://doi.org/10.20998/2224-0349.2022.01.05 (in Ukrainian)

- C. Wang, Q. Sun, A. Al-Abadi, and W. Wu, "Computational fluid dynamics and thermal hydraulic modelling approaches for calculation of thermal performance of oil-filled distribution transformers with corrugated walls", in *Transformer Research and Asset Management*, Split, Croatia, Nov. 29–Dec. 2, 2023.
- 9. T. Meshkov, D. Danylchenko, and M. Wolter, "Study of the thermal state of the transformer depending on the operating mode", *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Energy:*

*Reliability and Energy Efficiency*, no. 1 (8), pp. 73–77, Jul. 2024, doi: https://doi.org/10.20998/2224-0349.2024.01.12 (in Ukrainian)

- E. Cazacu, M.-C. Petrescu, V. Ionita, and L. Petrescu, "Nonsinusoidal load current effect on the electrical and thermal operating parameters of oil filled power distribution transformers", in 2018 18th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), Ljubljana, Slovenia, May 13–16, 2018. IEEE, 2018, doi: https://doi.org/10.1109/ichqp.2018.8378838
- M. S. Seddik, J. Shazly, and M. B. Eteiba, "Thermal analysis of power transformer using 2D and 3D finite element method", *Energies*, vol. 17, no. 13, Jun. 2024, Art. no. 3203, doi: https://doi.org/10.3390/en17133203

Надійшла (received) 16.12.2024

# UDC 621.314.2

SERGII SHEVCHENKO – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Head of the Department of Electric Power Transmission, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; Kharkiv, Ukraine; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9658-7787; e-mail: Sergii.Shevchenko@khpi.edu.ua.

*DMYTRO DANYLCHENKO* ⊠ – Candidate of Technical Sciences (PhD), Docent, Professor of the Department of Electric Power Transmission, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; Kharkiv, Ukraine; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7912-1849; e-mail: Dmytro.Danylchenko@khpi.edu.ua.

**ROMAN GANUS** – PhD Student of the Department of Electric Power Transmission, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; Kharkiv, Ukraine; ORCID: https://orcid.org/0009-0001-2442-6087; e-mail: mrgans.roma@gmail.com.

# DEVELOPMENT OF THERMAL MODEL OF AN OIL-FILLED TRANSFORMER IN ANSYS ENVIRONMENT

The paper deals with modelling of thermal modes of an underground substation using the Ansys software environment. The main attention is paid to the oil-filled transformer TRDN-63000/110, for which a simplified geometric model was created in the Design Modeler module. The thermal processes were modelled in Ansys Steady-State Thermal using a triangular mesh and adjusting material parameters such as thermal conductivity and cooling medium properties. The study analysed the transformer's operating modes: short circuit, no-load, and transient states. In the short-circuit mode, the modelling results showed that when using transformer oil, the maximum temperature of the active part is reduced to the range of 67-91 °C, which is significantly lower than in the case of air cooling, when the temperature exceeded the permissible values (225 °C). In the no-load mode, the maximum temperature of the transformer was only 35 °C, which indicates the effectiveness of oil cooling even at minimal power loads. Particular attention is paid to the bases of the maximum temperature of the transformer of the transformer of the maximum temperature of the transformer or on the density of heat fluxes in different operating modes. It is shown that the maximum temperature is directly proportional to the load and heat flux density, and the highest heat transfer intensity is observed near the windings. The obtained results allow us to assess the efficiency of heat dissipation of the transformer and its impact on the heat balance of the substation premises. The modelling data can be used to improve the design of transformers, optimise cooling systems and ensure reliable operation of power equipment in underground substations. This study emphasises the importance of using modern numerical methods to analyse the thermal characteristics of transformers and adapt them to difficult operating conditions.

Keywords: thermal modelling; Ansys Steady-State Thermal; oil-filled transformer; underground substation; thermal conditions; transformer cooling.