

ВІДГУК

офіційного опонента Лежнюка Петра Дем'яновича на дисертаційну роботу Кулика Олексія Сергійовича «Підвищення достовірності розпізнавання типу дефектів в обладнанні електричних систем за результатами аналізу розчинених в маслі газів», представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Актуальність теми

Трансформатори є невід'ємною складовою електроенергетичної системи. Від надійності їх функціонування залежить робота усієї інфраструктури. Тому це завдання є стратегічним для електроенергетичної галузі будь-якої країни. Але сьогодні у багатьох країнах спостерігається старіння трансформаторів. Велика кількість трансформаторів у всьому світі була побудована та введена в експлуатацію у 1950-1970 рр. і з часом їх середній вік лише збільшуватиметься. Очевидно, що в процесі експлуатації трансформаторів зменшується ресурс їхньої ізоляції, що з часом може призвести до її пробою та виникненню коротких замикань. Тому актуальним є питання удосконалення методів діагностики, що дозволять виявляти пошкодження трансформаторів на ранній стадії.

Метою дисертаційного дослідження Кулика О. С. є покращення експлуатаційної надійності високовольтного маслонаповненого обладнання ЕСМ за рахунок підвищення достовірності розпізнавання типу дефектів за результатами аналізу розчинених у маслі газів, що визначає його **актуальність**.

Тема пов'язана з виконанням науково-дослідних робіт на кафедрі «Передача електричної енергії» НТУ «ХП»: «Удосконалення методів діагностики стану маслонаповненого високовольтного обладнання електричних мереж» (№ ДР 0121U109404, 2021–2022 рр.), де здобувач був відповідальним виконавцем; «Забезпечення стійкого, надійного та ефективного енергопостачання районів міст постраждалих внаслідок бойових дій» (№ ДР 0123U100244, 2023–2025 рр.), де здобувач є виконавцем окремих розділів.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Положення та висновки, що наведені в дисертаційній роботі Кулика О.С., є достатньо обґрунтованими та логічно сформульованими як з наукового, так і з технічного поглядів. В основу роботи покладено системний підхід при проведенні досліджень, що базується на фундаментальних положеннях теорії технічної

діагностики, зокрема методам розділення багатомірного діагностичного простору на декілька станів, метричним методам розпізнавання, техніки високої напруги, теорії ймовірності та математичної статистики, а також на аналітичних та чисельних методах аналізу і сучасних інформаційних технологіях. Математична обробка результатів досліджень виконувалася з використанням прикладного програмного забезпечення, а також розроблених здобувачем програм. Надійність розробки забезпечена коректним використанням методів дослідження, підтверджена результатами та промисловим впровадженням розроблених методів.

Достовірність отриманих теоретичних досліджень підкріплюється конкретними результатами в діючому обладнанні, що підтверджують їхню практичну застосованість та вагомість у реальних умовах. Це дозволяє впевнено стверджувати, що розроблені методи та підходи можуть бути успішно використовуватися.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Отримав подальший розвиток метод номограм, сформовані нові 95 графічних областей для дефектів різного типу та їх комбінацій;

2. Вперше розроблено графічний метод розпізнавання типу дефекту по значенням трьох відношень газів, який дозволяє розпізнавати не тільки електричні розряди і термічні дефекти, а й їх комбінації з оцінкою енергії розрядів та температури гарячої точки;

3. Вперше запропоновано метод розпізнавання типу дефекту за комплексом діагностичних критеріїв, який дозволяє розпізнавати 32 типи дефектів;

4. Науково обґрунтовано діапазони значень відношень характерних газів, відсоткового вмісту газів і відношень газів до газу з максимальним вмістом для 32 типів дефектів та їх комбінацій.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Запропоновано методику класифікації стану маслонаповненого обладнання в багатомірному діагностичному просторі, яка використовується в науковій діяльності кафедри передачі електричної енергії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» при дослідженні процесів старіння ізоляції високовольтного маслонаповненого обладнання. Отримані в роботі результати використовуються у навчальному процесі на кафедрі «Передача електричної енергії» в освітніх компонентах: «Техніка високих напруг» і «Математичні основи технічної діагностики» за освітньою програмою «Електроенергетика», освітньою-

науковими програмами «Електроенергетика» та «Комп'ютерні інформаційні технології цифрової трансформації енергетики» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Отримані наукові результати вже знайшли своє практичне застосування під час проведення діагностики високовольтних трансформаторів в АТ "Харківобленерго". Застосування розроблених методик та технологій в реальних умовах підтверджує їхню ефективність та високий потенціал у покращенні стану та функціонування електроенергетичного обладнання. Отримані діапазони значень відношень характерних газів, відсоткового вмісту газів і номограми дефектів використовуються як додаткові критерії для визначення типу дефектів за результатами аналізу розчинених у маслі газів у службі ізоляції та грозозахисту АТ «Харківобленерго». Розроблені методи розпізнавання типу дефектів маслонаповненого обладнання електричних систем і мереж за результатами аналізу розчинених у маслі газів, програмно реалізовані в вигляді окремих модулів інформаційно-аналітичної системи «СИРЕНА», яка на даний час розробляється на кафедрі «Передача електричної енергії» НТУ «ХПІ».

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Основний зміст дисертаційної роботи відображено у 27 наукових публікаціях, з яких 8 статей у наукових фахових виданнях України, 4 – в іноземних виданнях, що індексуються у міжнародних наукометричних базах даних Scopus та/або Web of Science, 15 – у матеріалах конференцій, з яких 8 проіндексовані у міжнародних наукометричних базах даних Scopus та/або Web of Science.

Участь здобувача у роботах, що опубліковані у співавторстві зазначена у дисертаційній роботі.

Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації та відповідають вимогам пункту 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44.

Короткий аналіз змісту дисертації, відповідність його поставленим задачам, мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота Кулика Олексія Сергійовича складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і 6 додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначені задачі

дослідження, показано зв'язок роботи з науковими темами, наведено дані про наукову новизну, практичне значення, апробацію результатів та публікації.

У **першому розділі** виконано аналіз експлуатаційної надійності високовольтного маслонаповненого обладнання (в першу чергу силових трансформаторів) електричних систем та мереж. Проаналізовані основні причини та найбільш часті ушкодження високовольтних силових трансформаторів. Визначені основні дефекти, що виявляються у маслонаповненому обладнанні електричних систем та мереж за допомогою інтерпретації результатів аналізу розчинених у маслі газів. Проаналізовані методи та критерії, що використовуються для визначення типу дефектів високовольтного маслонаповненого обладнання за вмістом розчинених в маслі газів. Проаналізовані сучасні тенденції щодо удосконалення методів інтерпретації результатів аналізу розчинених у маслі газів. Проаналізовані основні проблеми, що виникають при оцінюванні стану високовольтного маслонаповненого обладнання за результатами аналізу розчинених у маслі газів.

У **другому розділі** проаналізовані значення діагностичних критеріїв у 3449 одиницях маслонаповненого обладнання електричних систем та мереж з дефектами різного типу, встановлено діапазони значень відношень характерних газів, відсоткового вмісту газів і відношень газів до газу з максимальним вмістом, побудовано 109 графічних областей (номограм дефектів), проведено порівняльний аналіз достовірності розпізнавання цих дефектів. За результатами виконаного порівняльного аналізу достовірності розпізнавання дефектів різного типу встановлено, що достовірність розпізнавання кожного з методів не є постійною, а варіюється залежно від типу дефекту, що не дає змоги розглядати той чи інший метод як універсальний для розпізнавання дефектів різного типу.

У **третьому розділі** наведено опис розроблених нових методів розпізнавання типу дефектів у маслонаповненому обладнанні електричних систем та мереж за значеннями відношень газів, відсоткового вмісту газів та комплексом діагностичних критеріїв, проведено порівняльний аналіз достовірності розпізнавання типу дефектів з використанням розроблених методів та уже наявних стандартів і методів з інтерпретації результатів аналізу розчинених у маслі газів.

У **четвертому розділі** описана програмна реалізація розроблених методів розпізнавання типу дефектів в маслонаповненому обладнанні електричних систем та мереж за значеннями відношень газів, відсоткового вмісту газів та комплексом діагностичних критеріїв у складі інформаційно-аналітичної системи «СИРЕНА».

У висновках наведено основні результати роботи щодо вирішення поставлених задач дослідження.

Список використаних джерел із 146 найменувань досить повний і включає вітчизняні та зарубіжні публікації.

Анотація відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває наукові результати та практичну цінність роботи.

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено.

Усі результати, які винесено автором на захист, отримані самостійно і містяться в опублікованих роботах. У роботах, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків.

Зауваження по дисертаційній роботі.

1. З тексту дисертації не зрозуміло, чи впливають конструктивні особливості та режими експлуатації обладнання, що аналізується, на вміст розчинених у маслі газів при розвитку того чи іншого типу дефекту.

2. У розділі 2 розглянуто тільки значення діагностичних критеріїв характерних для дефектів різного типу. Водночас причини появи цих дефектів і характерні пошкодження не аналізуються.

3. Варто пояснити як отримані автором результати узгоджуються з іншими дослідженнями.

4. У розділі 3.4 для розпізнавання типу дефекту здобувач використовує метричні методи. Перевага такого підходу порівняно з іншими методами, наприклад, нейронними мережами або апаратом нечіткої логіки не обґрунтована.

5. Аналізуючи структуру та викладення матеріалу дисертаційної роботи, слід визнати наявність певних незначних недоліків у її оформленні. Зокрема, виникають певні друкарські, пунктуаційні та стилістичні помилки, які можуть впливати на загальне сприйняття.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи. Дисертація є актуальною і має високу наукову цінність та практичну значущість.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Кулика Олексія Сергійовича «Підвищення достовірності розпізнавання типу дефектів в обладнанні електричних систем за результатами аналізу розчинених в маслі газів» за своїм змістом відповідає спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Дисертація є завершеною

науково-дослідною роботою, у якій розв'язується науково-технічна проблема покращення експлуатаційної надійності високовольного маслонаповненого обладнання електричних систем і мереж за рахунок підвищення достовірності розпізнавання типу дефектів за результатами аналізу розчинених у маслі газів.

Подана дисертаційна робота Кулика Олексія Сергійовича «Підвищення достовірності розпізнавання типу дефектів в обладнанні електричних систем за результатами аналізу розчинених в маслі газів» відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а саме вимогам пунктів 6, 7, 8 і 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44, а здобувач Кулик Олексій Сергійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Офіційний опонент:

професор кафедри електричних станцій та систем

Вінницького національного технічного університету.

д.т.н., професор

Петро ЛЕЖНЮК

29.01.24 р.

Вгемс

секретар



Олексія Кулика

Вістак