

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію ІЛЛЮЧЕНКА Павла Олександровича
«Удосконалення системи попередження поширення пожежі на
маслоприймачах», поданої на здобуття наукового
ступеня доктора філософії у галузі знань 26 «Цивільна безпека» за
спеціальністю 261 «Пожежна безпека»

Актуальність теми. В сфері застосування електротехнічних виробів, зокрема на об'єктах енергетичних підприємств, надважливу увагу приділяють обмеженню поширення полум'я під час пожежі. Для маслонаповнених трансформаторів з метою локалізації можливих загорянь застосовуються маслоприймачі, що призначені для акумулювання електроізоляційної рідини (трансформаторного масла) у випадку нештатного витоку з герметизованого корпусу обладнання. В аварійних ситуаціях масло може досягати температур, що становлять загрозу займання при контакті з атмосферним повітрям. У конструкції маслоприймачів передбачається використання шару гравійного заповнення як засобу теплообміну та протипожежного бар'єру для рідини. Однак, внаслідок впливу факторів зовнішнього середовища, відбувається контамінація шару засипки з мінеральних матеріалів, що призводить до значного зниження його гідравлічної пропускної здатності та ефективності тепловідведення від масла, нагрітого до пожежонебезпечних температур. Вищезазначене обґрунтовує необхідність проведення науково-дослідних робіт, спрямованих на визначення оптимальних параметрів пристрою для ефективного зниження температурних показників трансформаторного масла до безпечних значень в умовах аварійного витоку під час пожежі, що може слугувати альтернативою традиційному використанню гравійної засипки в маслоприймачах трансформаторів.

Структура дисертації та її обсяг

Робота містить анотацію, зміст, вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел та додатки. Загальний обсяг дисертації разом з додатками становить 179 сторінок, 20 таблиць, 30 рисунків, список використаних джерел містить 144 найменування, а також 3 додатки.

Огляд змісту роботи.

У **вступі** наведено загальні дані щодо дисертації.

У **першому** здійснено аналіз сучасного стану технічних та інженерних рішень, спрямованих на припинення й обмеження поширення пожежі на об'єктах енергетичної інфраструктури, зокрема на трансформаторних підстанціях із силовими трансформаторами, заповненими маслом. Установлено, що значна частка пожеж в енергетичному секторі зумовлена аварійними режимами експлуатації саме маслонаповнених силових трансформаторів.

На основі аналізу теплофізичних властивостей металів та особливостей конструкції теплообмінного обладнання встановлений напрямок подальших досліджень, спрямованих на удосконалення системи локалізації та запобігання поширенню вогню в зоні маслоприймачів трансформаторів. З огляду на потенційну можливість заміни традиційної гравійної засипки теплообмінною системою, запропоновано до розгляду застосування проектних рішень для теплообмінної системи на базі конструкції кожухотрубних теплообмінників.

У **другому** розділі розглянуто способи передачі тепла, що реалізуються в теплообмінних апаратах: конвекцію, теплопровідність та радіаційне випромінювання. На основі проведеного аналізу встановлено, що температура трансформаторного масла є критичним параметром для оцінки ефективності системи попередження поширення пожежі, а саме - система повинна забезпечувати зниження температури масла до рівня, нижчого за температуру його спалаху, яка становить 150°C . Досягнення цього дозволяє зменшити ймовірність займання та поширення полум'я при аварійних ситуаціях. З метою забезпечення високої ефективності тепловідведення розроблено математичну модель теплообмінного апарата, що працює з використанням холодоагенту (води) з фазовим переходом у пару. Побудова моделі ґрунтується на рівнянні Бернуллі та рівнянні енергетичного балансу, що дозволяє описати динаміку переносу енергії з урахуванням змін агрегатного стану холодоагенту.

У **третьому** розділі представлено результати експериментальних досліджень, проведених за розробленою методикою, з метою встановлення закономірностей зниження температури трансформаторного масла під час його проходження через охолоджуючий контур теплообмінного апарата. Основним завданням дослідження було визначення ефективності охолодження масла до температур, нижчих за температуру спалаху (150°C), що є критерієм для оцінювання ефективності теплообмінної системи. У результаті проведених досліджень встановлено закономірності зниження температури мінерального трансформаторного масла при русі крізь охолоджувальний контур. Дані експериментів підтверджують здатність розробленої системи ефективно знижувати температуру робочого середовища до безпечних значень, що унеможливорює самозаймання масла в умовах аварійного теплового навантаження.

У **четвертому** розділі на основі отриманих експериментальних результатів визначено значення коефіцієнта теплопередачі, необхідного для ефективного охолодження трансформаторного масла в діапазоні від 250°C (температура самозаймання) до 150°C (температура спалаху) при об'ємах від 200 л до 60 000 л. На основі отриманих даних було проведено повний факторний обчислювальний експеримент, за результатами якого розроблено математичну модель залежності площі охолоджуючого контуру теплообмінника від двох основних параметрів: об'єму трансформаторного масла та діаметра гофрованих трубок з нержавіючої сталі, що використовуються в теплообмінній системі. Розрахункова модель дозволяє здійснювати проектування теплообмінних охолоджувальних систем, адаптованих до різних типорозмірів трансформаторів. На основі математичної моделі сформовано довідкову таблицю, яка дозволяє визначати оптимальні конструктивні параметри теплообмінника, здатного забезпечити зниження температури трансформаторного масла нижче

температури його спалаху у разі пожежі. На підставі результатів дослідження сформульовано пропозиції щодо внесення змін до Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) в частині застосування систем попередження поширення пожежі на основі теплообмінних гофрованих трубок з нержавіючої сталі замість гравійної засипки в маслоприймачах трансформаторів. Проведений розрахунок економічної ефективності впровадження теплообмінника з гофрованими трубками засвідчив його перевагу над традиційною гравійною засипкою, що використовується в маслоприймачах. Зокрема, враховуючи зниження експлуатаційних витрат, підвищену ефективність тепловідведення та можливість багаторазового використання конструкції, запропоноване рішення є економічно доцільним у довгостроковій перспективі.

Наукова новизна дисертації полягає у вирішенні актуального науково-прикладного завдання, пов'язаного з розробкою математичних моделей щодо охолодження мінерального трансформаторного масла до рівня нижчого за температуру його спалаху під час проходження через охолоджуючий контур теплообмінного апарата. Отримані результати становлять наукове підґрунтя для вдосконалення системи попередження поширення пожеж у зоні маслоприймачів підстанцій, що є актуальним в умовах ризику виникнення аномальних режимів роботи трансформаторів, які також можуть бути спричиненими військовими діями країни агресора.

У процесі дослідження одержано науково обґрунтовані та практично значущі результати, зокрема:

- створено математичну модель теплообмінника, побудовану на основі рівняння Бернуллі та рівняння енергетичного балансу, яка враховує застосування холодоагенту з фазовим переходом рідини в газоподібний стан. За допомогою цієї моделі обґрунтовано діапазон значень коефіцієнта теплопередачі, необхідного для ефективного зниження аварійної пожежонебезпечної температури трансформаторного масла нижче температури спалаху (150°C). Запропонована модель враховує використання гофрованих трубок з нержавіючої сталі як основного елемента теплообмінної системи та води як холодоагенту. Для широкого діапазону об'ємів трансформаторного масла — від 200 л до 60 000 л — визначено, що необхідний коефіцієнт теплопередачі лежить у межах 236–2925 $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

- розроблено регресійну математичну модель, що описує залежність площі охолоджуючого контуру теплообмінника від об'єму трансформаторного масла та діаметра гофрованих трубок з нержавіючої сталі. Дана модель дозволяє здійснити оцінювання ефективності тепловідведення в умовах пожежі та аварійного витоку масла, забезпечуючи визначення параметрів системи, за яких температура масла знижується нижче температури його спалаху.

Запропонований підхід може бути використаний для проектування системи попередження поширення пожежі, здатної замінити традиційну гравійну засипку в маслоприймачах трансформаторів. В результаті досліджень удосконалено теоретичні підходи до оцінювання умов охолодження трансформаторного масла до безпечної температури в результаті проходження через контур теплообмінника системи попередження поширення пожежі на маслоприймачах трансформаторних підстанцій. Зокрема, запропоновано нові підходи до

розрахунку необхідної площі теплообмінної поверхні з урахуванням фазового переходу холодоагенту. Крім того, розширено експериментальну базу дослідження процесів теплообміну між трансформаторним маслом та засобами його охолодження. охолоджуючим контуром теплообмінника.

Практичне значення полягає у розробленні методичної й експериментальної бази для прогнозування ефективності теплообмінної системи попередження поширення пожежі на маслонаповнених трансформаторних підстанціях, як наукового підґрунтя для їх проектування; результати роботи в перспективі можуть бути ураховані при внесенні змін до Правил улаштування електроустановок.

Результати проведених досліджень в частині методичного забезпечення для удосконалення протипожежних вимог для трансформаторних підстанцій, що знаходяться на території підприємств, впроваджені у практичну діяльність компаній ТОВ «НВП «АЛАЙ» і ПП «ПроектБудСтар». Результати дисертаційних досліджень також впроваджені у діяльність Департаменту запобігання надзвичайним ситуаціям ДСНС України та в навчальний процес Національного університету цивільного захисту України. Під час виконання роботи створено експериментальне теплообмінне обладнання для дослідження процесу тепломасообміну між трансформаторним маслом та охолоджуючим контуром теплообмінника.

Особистий внесок здобувача є у формулюванні мети, завдань, об'єкта та предмета дослідження, проведенні аналізу літературних джерел, вивченню теплообмінних процесів, зокрема в кожухотрубних теплообмінних апаратах, розробленні програми та методики експериментальних досліджень, проведенні експериментальних досліджень, аналізуванні та обробці отриманих даних, проведенні чисельного повного факторного експерименту із побудовою регресійної залежності площі теплообміну від об'єму трансформаторного масла та діаметру трубок теплообмінника. Результати роботи впроваджені дисертантом особисто із дотриманням академічної доброчесності.

Обґрунтованість, достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується результатами аналітичних досліджень наукових джерел у цій сфері; узгодженістю методів дослідження із визначеними в роботі метою і завданнями; вичерпним обсягом отриманих результатів даних вимірювань в ході проведених експериментів при застосуванні метрологічно каліброваних засобів вимірювальної техніки; прийнятною збіжністю результатів проведених досліджень, а також результатами апробації та практичним впровадженням отриманих результатів проведених досліджень.

Основні результати отримані автором особисто, вони висвітлені у дисертації та опубліковані в 4 наукових статтях у спеціалізованих наукових виданнях, зокрема в 2 статтях в закордонному виданні, що входить до наукометричної бази Scopus, а також у тезах 3 доповідей на міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференціях.

Зауваження. При розгляді дисертації виявлені наступні недоліки:

- в дисертаційній роботі для покращення сприйняття наведених даних доцільно було б збільшити шрифт шкал вісей координат (рисунок 1.9 на стор. 50) (Залежність теплопровідності металів від температури);
- з наведених результатів по другому розділу не зрозуміло, чи враховувався під час математичного моделювання процес тепломасообміну між трансформаторним маслом та бетонною основою маслоприймача;
- у дисертації недостатня увага приділена розкриттю аспектів врахування експериментальної похибки;
- не зрозуміло чи розглянуто ефективність запропонованої системи попередження поширення пожежі при аварійних витоках масла, спричинених діями збройних ударів країни агресора;
- під час створення математичної моделі (4.4) автор не оцінив значущість коефіцієнтів регресії та не навів значення функції відгуку в центрі плану, що підтвердило б лінійність даної моделі;
- у роботі не приділена увага польовим моделям розвитку пожежі, як ефективного засобу для описання пожеж на трансформаторних підстанціях.

Загальна оцінка. Зазначені недоліки мають дискусійний характер і не впливають на загальне позитивне враження від дисертаційної роботи, яка в цілому є завершеною науковою роботою. Під час виконання роботи було отримано важливі результати, які дозволили вирішити актуальне науково-технічне завдання щодо створення наукового підґрунтя для удосконалення системи попередження поширення пожежі на маслоприймачах трансформаторних підстанцій.

У зв'язку з викладеним можна зробити висновок, що робота відповідає спеціальності 261 - Пожежна безпека й вимогам, які ставляться до дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а автор дисертації Павло ІЛЛЮЧЕНКО заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 261 - Пожежна безпека.

Офіційний опонент:

Професор кафедри охорони праці
та безпеки життєдіяльності
Харківського національного університету
міського господарства імені О.М. Бекетова
д.т.н., с.н.с.

Юрій КЛЮЧКА

Підпис *Ю. Ключка*

Засвідчую:
наг. відд. кадрів



Павло Іллюченко