

ВІДГУК

офіційного опонента БЄЛІКОВ Анатолія Серафимовича 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»

* Вивчення поданих Павлом Іллюченком матеріалів дисертації та ознайомлення з науковими публікаціями за темою дають підстави стверджувати, що здобувачем проведено достатньо ґрунтовний науковий аналіз обраної теми, виявлено новизну та актуальність, сформульовано основні наукові положення та зроблено висновки, що виносяться на захист.

Актуальність теми роботи.

Вважається, що пожежі за участю викиду горючих електроізоляційних рідин, що мають температуру займання менше ніж 300 °С та теплоту згорання більше 42 °МДж/кг), приносять найбільші матеріальні втрати. Особливо масштабними можуть бути пожежі на маслonaповнених трансформаторах, адже кількість діелектричного масла в деяких з них може сягати понад 50 тон. Для зменшення пожежонебезпечної температури масла під час аварійного розливу в маслоприймачах трансформаторів застосовують шар гравійної засипки, недоліком застосування яких є зниження охолоджувальної здатності у разі засмічення під впливом природніх умов, а також ресурсозатратний комплекс заходів з очищення. Способом заміни засипки з гірських порід в маслоприймачах може стати улаштування замість неї теплообмінної системи, де в якості холодоагенту застосовано воду. Тому проведення досліджень, направлених на визначення оптимальних параметрів теплообмінної системи для зниження температури трансформаторного масла до пожежобезпечного рівня в умовах його аварійного витоку під час пожежі є актуальним. Визначені дослідження дозволяють удосконалити системи попередження поширення пожежі в маслоприймачах трансформаторів.

Огляд змісту роботи.

В першому розділі проведено аналіз статистичних даних про пожежі енергетичної галузі, зокрема за участі трансформаторного обладнання. Наведено аналіз сучасного стану реалізації технічних і інженерних рішень, спрямованих на запобігання поширенню пожеж на об'єктах енергетичної інфраструктури, зокрема на трансформаторних підстанціях із маслonaповненими силовими трансформаторами. Встановлено, що основною причиною виникнення пожеж на зазначених об'єктах є аварійні режими роботи трансформаторного обладнання, що супроводжуються інтенсивним нагріванням, розгерметизацією корпусу, витіканням і займанням

трансформаторного масла. Отримані результати засвідчують необхідність пошуку нових технічних підходів до підвищення ефективності систем локалізації загорянь, які здатні забезпечити швидке зниження температури в зоні маслоприймачів і запобігти вторинному займання. На основі проведеного аналізу теплофізичних властивостей металів та інженерних особливостей теплообмінного обладнання визначено перспективний напрям подальших наукових досліджень, спрямованих на удосконалення системи попередження поширення пожежі в зоні маслоприймачів силових трансформаторів. Визначено обмежену ефективність традиційної гравійної засипки як засобу теплового бар'єру, а також її пасивний характер дії. На основі обґрунтованого аналізу сформульовано мету та задачі дослідження. Запропоновано до розгляду досліджень альтернативну концепцію із використанням теплообмінної системи, з урахуванням конструктивних особливостей проєктування кожухотрубних теплообмінників, що дозволяє реалізувати контрольоване охолодження трансформаторного масла в аварійних режимах, забезпечуючи зниження його температури до безпечного рівня та, відповідно, зменшення ймовірності займання в умовах пожежі.

В другому розділі розглянуто основні механізми передачі тепла, що реалізуються в теплообмінних апаратах, зокрема: конвекцію, теплопровідність та теплове (радіаційне) випромінювання. На основі проведеного аналізу встановлено, що температура трансформаторного масла є критичним параметром для оцінювання ефективності систем попередження поширення пожежі. Зниження температури масла до рівня, нижчого за температуру його спалаху (150°C), є необхідною умовою для унеможливлення його займання у разі виникнення аварійних ситуацій. Автором з метою забезпечення тепловідведення розроблено математичну модель теплообмінного апарата, в якому як охолоджуюче середовище запропоновано використовувати воду з фазовим переходом у пару. Наведена модель побудована на основі рівняння Бернуллі та рівняння балансу енергії, що дозволяє описати динаміку теплопередачі з урахуванням зміни агрегатного стану холодоагенту. Визначено, що такий підхід забезпечує підвищену інтенсивність тепловідведення та створює умови для ефективного охолодження трансформаторного масла в умовах аварійного теплового навантаження.

В третьому розділі представлені виконані за розробленою методикою результати експериментальних досліджень зі встановлення закономірностей охолодження трансформаторного масла під час його протікання через охолоджувальний контур теплообмінника, виконаного з гофрованих трубок з нержавіючої сталі. Основною метою дослідження було визначення ефективності охолодження масла до температури нижче температури спалаху, що розглядається як ключовий критерій функціональної придатності теплообмінної системи для удосконалення системи попередження поширення пожежі на маслоприймачах трансформаторів. У результаті проведених

досліджень встановлено сталу закономірність зниження температури мінерального трансформаторного масла при русі крізь охолоджувальний контур, що підтверджує ефективність реалізованої системи тепловідведення. Експериментальні дані засвідчили здатність системи забезпечувати зниження температури робочого середовища до безпечного рівня, що унеможливило самозаймання масла за умов аварійної розгерметизації трансформатора. Було оцінено адекватність та достовірність отриманих у результаті експерименту температурних даних шляхом аналізу статистичних критеріїв Граббса та Фішера. Також було проведено вивчення адекватності отриманих даних на основі середньої відносної похибки та середньоквадратичного відхилення. Проведений аналіз показав прийнятну адекватність отриманих результатів.

В четвертому розділі за результатами експериментальних досліджень визначені значення коефіцієнта теплопередачі, необхідного для ефективного охолодження трансформаторного масла в діапазоні від температури самозаймання (250 °C) до нижче температури спалаху 150 °C при кількостях 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. Математична 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 щодо застосування систем попередження поширення пожежі на основі теплообмінних гофрованих трубок з нержавіючої сталі замість гравійної засипки в маслоприймачах трансформаторів. 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.

Оцінка змісту дисертації, її в завершеності в цілому й оформлення

Дисертаційна 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.

Основні наукові результати, одержані автором, та їхня новизна.

За темою дисертації опубліковано 9 наукових праць: 4 статті у наукових фахових періодичних виданнях України, 2 статті в закордонному виданні, що входить до наукометричної бази Scopus та 3 тез доповідей на міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференціях.

Наукова новизна дисертації полягає у вирішенні актуального науково-прикладного завдання, пов'язаного з встановленням закономірностей охолодження температури 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 пару. За цим обґрунтовано діапазон значень коефіцієнта теплопередачі, необхідного для ефективного охолодження трансформаторного масла при аварійному витoku до температури нижче точки спалаху. 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 Вт/(м²·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 витoku масла, забезпечуючи визначення параметрів системи, за яких температура масла знижується нижче температури його спалаху.

- проведено наукове та практичне обґрунтування удосконалення системи попередження поширення пожежі на маслоприймачах внаслідок застосування охолоджуючого контуру теплообмінної системи маслоприймачів трансформаторних підстанцій.

Запропонований підхід може бути використаний для проектування системи попередження поширення пожежі, здатної замінити традиційну гравійну засипку в маслоприймачах трансформаторів.

Удосконалено:

- теоретичні підходи оцінювання умов зниження температури масла до безпечної температури внаслідок проходження через охолоджуючий контур теплообмінної системи маслоприймачів трансформаторних підстанцій.
- експериментальну базу для дослідження процесів теплообміну між трансформаторним маслом та холодоагентом в теплообміннику.

* **Практичне значення** отриманих результатів полягає у розробленні методичного та експериментального базису для проєктування теплообмінних систем попередження поширення пожежі на маслonaповнених трансформаторних підстанціях, а результати роботи в можуть бути ураховані під час оновлення вимог нормативно-технічної документації, зокрема Правил улаштування електроустановок. Результати дисертаційних досліджень впроваджені у діяльність Департаменту запобігання надзвичайним ситуаціям ДСНС України та в навчальний процес Національного університету цивільного захисту України та також, 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». Під час виконання роботи створено експериментальний стенд для дослідження процесу охолодження трансформаторного масла та гофрованими трубками теплообмінника, що наповнені водою.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності.

За результатами аналізу дисертаційної роботи та публікацій автора порушень академічної доброчесності не виявлено. Елементи фальсифікації чи фабрикації тексту в роботі відсутні.

Зауваження до дисертації:

1. Не зрозуміло, з яких міркувань здобувач для вимірювання температур масла в теплообміннику обрав термомпари ТХА.
2. Бажано було б розглянути в дисертації застосування інших видів трансформаторного масла.
3. В дисертаційній роботі не наведені дані щодо впливу погодних умов на точність результатів експериментальних досліджень;
4. Обрана модель експерименту не дозволяє враховувати відвід тепла у навколишнє середовище та до бетонної основи маслоприймача, що по факту відбувається у реальних процесах.
5. Не зрозуміла обґрунтованість зменшення розмірів макету використаної під час експериментальних досліджень.

6. У дисертації не наведена інформація щодо впливу систем пожежогасіння, якими обладнуються трансформаторні підстанції, на процес охолодження оливи.

Однак, зазначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку проведеного дослідження й одержаних результатів дисертаційної роботи.

Висновки щодо дисертаційної роботи

* За актуальністю теми, відповідністю науковому рівню та вірогідністю висновків дисертація Павла Іллюченка «Удосконалення системи попередження поширення пожежі на маслоприймачах» відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» (зі змінами) та Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 № 44), а її автор, Іллюченко Павло Олександрович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 261 «Пожежна безпека».

Офіційний опонент:

Заслужений діяч науки і техніки України,

доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри охорони праці,

цивільної та техногенної безпеки

Навчально-наукового інституту «Придніпровська

державна академія будівництва та архітектури»

Українського державного університету

науки і технологій

Анатолій БЄЛІКОВ

