

РЕЦЕНЗІЯ

кандидата технічних наук, доцента, доцента кафедри фізико-математичних дисциплін навчально-наукового інституту управління та безпеки населення Національного університету цивільного захисту України

Змаги Яни Василівни

на дисертаційну роботу

Ілляченка Павла Олександровича

за темою «Удосконалення системи попередження поширення пожежі на маслоприймачах»

поданою на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 261 - Пожежна безпека

Актуальність роботи.

Питання запобігання виникненню пожеж та їх гасіння в електроустановках, зокрема на масло наповнених трансформаторах, займалися такі українські та зарубіжні вчені як: Булгаков А.Б., Вернакова Д.А., Душкін А.Л., Зозуля Д.В., Кашолкін Б.І., Лінчевський Є.А. в свою чергу питаннями обмеження поширення пожеж на суміжні споруди, оцінювання ризиків виникнення пожеж на трансформаторних станціях присвячені роботи українських вчених Антонова А.В., Ніжника В.В., Соколова В.В., Поздєєва С.В., Філяновича Л.П., Хісматулліна А.С., Черкасова В.М. Однак, у цих працях недостатньо досліджені процеси теплообміну для забезпечення ефективного відведення тепла трансформаторного масла, що проходить через маслоприймачах, і не виявлені закономірності зниження температури масла до нижчої температури спалаху. Це обґрунтовує необхідність проведення досліджень, направлених на вивчення оптимальних параметрів засобу для реалізації ефективного зниження температури трансформаторного масла до пожежобезпечного рівня в умовах його аварійного витoku під час пожежі, тому дисертація Ілляченко П.О. присвячена удосконаленню системи попередження поширення пожежі на маслоприймачах.

Ступінь наукової обґрунтованості результатів, сформульованих в роботі, їх наукова новизна.

Дисертаційна робота Ілляченко П.О. містить нові математично обґрунтовані результати. Зокрема розкриті закономірності зниження температури трансформаторного масла в наслідок проходження через охолоджуючий контур теплообмінної системи, що у сукупності формують обґрунтовану теоретичну базу для створення передумови щодо підвищення ефективності системи попередження поширення пожежі на маслоприймачах трансформаторних підстанцій. Це супроводжується поетапною демонстрацією кроків удосконалення системи попередження поширення пожежі на даних об'єкта.

Науково обґрунтовано створену математичну модель теплообмінника використовуючи рівняння Бернулі та рівняння балансу енергії. В даній моделі застосовувався величини холодоагенту з фазним переходом в діапазоні значень коефіцієнта теплопередачі теплообмінника, виконаного з гофрованих трубок нержавіючої сталі і водою в якості охолоджувача. Дана модель може бути використана для об'єму масла 200 – 60000 л значення коефіцієнта теплопередачі складає 236-2926 Вт/м²К.

Також створено регресійні залежності площі охолодження контуру теплообмінника, що забезпечує при пожежі, охолодження трансформаторного масла нижче температури спалаху, від об'єму трансформаторного масла та діаметра гофрованих трубок теплообмінника. Модель дозволяє здійснювати уточнене прогнозування закономірності визначення достатності охолодження трансформаторного масла в теплообміннику в умовах його аварійного витоку під час пожежі і може бути реалізована для проектування ефективної системи попередження поширення пожежі на маслонаповнених трансформаторних підстанціях, здатних замінити засипку з гірських порід.

Автором було удосконалено:

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

В дисертаційній роботі автора набуло подальшого розвитку методи нормування параметрів системи попередження поширення пожежі на маслонаповнених трансформаторних підстанціях – параметрів охолоджуючого контуру теплообмінної системи для маслоприймачів трансформаторних підстанцій для підвищення її ефективності в умовах пожежі.

Всі отримані автором результати є новими, достовірними та належно обґрунтованими.

Практичне значення дисертаційних досліджень полягає у розробленні методичної й експериментальної бази для прогнозування ефективності теплообмінної системи попередження поширення пожежі на маслонаповнених трансформаторних підстанціях, як наукового підґрунтя їх проектування; сутність розроблених методик може бути урахована при внесенні змін до Правил улаштування електроустановок (ПУЕ); Результати проведених досліджень впроваджені у практичну діяльність компаній ГП «ПроектБудСтар» та ТОВ «Науково-виробниче підприємство «АЛАЙ» в частині методичного забезпечення для удосконалення протипожежних вимог для трансформаторних підстанцій, що знаходяться на території підприємства. Результати дисертаційних досліджень також впроваджені у діяльність Департаменту запобігання надзвичайним ситуаціям ДСНС України, впроваджено в навчальний процес в освітній процес Національного університету цивільного захисту України. Під час виконання роботи створено експериментальну теплообмінну установку для дослідження процесу тепломасообміну між

Науково обґрунтовано створену математичну модель теплообмінника використовуючи рівняння Бернуллі та рівняння балансу енергії. В даній моделі застосовувався величини холодоагенту з фазним переходом в діапазоні значень коефіцієнта теплопередачі теплообмінника, виконаного з гофрованих трубок нержавіючої сталі і водою в якості охолоджувача. Дана модель може бути використана для об'єму масла 200 – 60000 л значення коефіцієнта теплопередачі складає 236-2926 Вт/м²К.

Також створено регресійні залежності площі охолодження контуру теплообмінника, що забезпечує при пожежі, охолодження трансформаторного масла нижче температури спалаху, від об'єму трансформаторного масла та діаметра гофрованих трубок теплообмінника. Модель дозволяє здійснювати уточнене прогнозування закономірності визначення достатності охолодження трансформаторного масла в теплообміннику в умовах його аварійного витоку під час пожежі і може бути реалізована для проектування ефективної системи попередження поширення пожежі на маслонаповнених трансформаторних підстанціях, здатних замінити засипку з гірських порід.

Автором було удосконалено:

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

В дисертаційній роботі автора набуло подальшого розвитку методи нормування параметрів системи попередження поширення пожежі на маслонаповнених трансформаторних підстанціях – параметрів охолоджуючого контуру теплообмінної системи для маслоприймачів трансформаторних підстанцій для підвищення її ефективності в умовах пожежі.

Всі отримані автором результати є новими, достовірними та належно обґрунтованими.

Практичне значення дисертаційних досліджень полягає у розробленні методичної й експериментальної бази для прогнозування ефективності теплообмінної системи попередження поширення пожежі на маслонаповнених трансформаторних підстанціях, як наукового підґрунтя їх проектування; сутність розроблених методик може бути урахована при внесенні змін до Правил улаштування електроустановок (ПУЕ); Результати проведених досліджень впроваджені у практичну діяльність компаній ПП «ПроектБудСтар» та ТОВ «Науково-виробниче підприємство «АЛАЙ» в частині методичного забезпечення для удосконалення протипожежних вимог для трансформаторних підстанцій, що знаходяться на території підприємства. Результати дисертаційних досліджень також впроваджені у діяльність Департаменту запобігання надзвичайним ситуаціям ДСНС України, впроваджено в навчальний процес в освітній процес Національного університету цивільного захисту України. Під час виконання роботи створено експериментальну теплообмінну установку для дослідження процесу тепломасообміну між

трансформаторним маслом та водяним охолоджуючим контуром теплообмінника.

Структура і зміст дисертації.

Результати дисертації відображені у 9 наукових працях: чотирьох статтях у наукових фахових періодичних виданнях України, двох публікаціях, що індексуються в наукометричній базі Scopus та трьох тезах доповідей на міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях.

Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, використаних джерел інформації та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 179 сторінок, основна частина її складає 161 сторінку.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної тематики, подано коротку характеристику результатів дослідження, ступінь їх апробації та публікації.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану заходів щодо припинення та обмеження поширення пожеж на об'єктах енергетичної галузі, зокрема на маслонаповнених трансформаторних підстанціях. Встановлено, що значна частина пожеж в енергетичній галузі спричинена аварійними режимами роботи за участі маслонаповнених силових трансформаторів. Висвітлені основні способи запобігання поширення пожеж на маслонаповнених силових трансформаторах, серед яких є улаштування під ними маслоприймачів для збору аварійного виливу масла, температуру якого знижують до пожежонебезпечної за допомогою засипки з гірських порід. Указано, що спосіб застосування засипок з гірських порід може бути малоефективним та економічно затратним. Визначено, що у працях вчених, направлених на удосконалення запобігання виникнення та поширення пожеж в будівлях і спорудах, електроустановках, вивчення характеристик процесу горіння речовин та особливостей гасіння пожеж розливів горючих рідин, але не розкрито питання щодо удосконалення засобу попередження поширення пожежі на маслоприймачах трансформаторів в частині реалізації ефективної швидкодіючої теплообмінної системи, здатної знизити температуру трансформаторного масла нижче температури спалаху і придатної замінити засипку з гірських порід, що підкреслює актуальність проведення досліджень в цьому напрямку. На основі аналізу теплофізичних характеристик речовин, матеріалів та конструктивних особливостей теплообмінних апаратів визначено, що дослідження удосконалення системи попередження поширення пожежі на маслоприймачах трансформаторів, здатної замінити засипку з гірських порід, доцільно провести використовуючи методологію проектування кожухотрубних теплообмінних апаратів з використанням води в якості холодоагенту з фазним переходом.

У другому розділі розглянуто особливості фізико-хімічних процесів передачі тепла між системами, що відбуваються в теплообмінних апаратах, які використовуються: конвекція, теплопровідність і теплове (радіаційне) випромінювання. Встановлено, що для розрахунків теплообмінних процесів в теплообмінниках типів кожухотрубні та двотрубні враховуються конвективний теплообмін і теплопровідність. Встановлено, що основним критерієм для

оцінки ефективності системи попередження поширення пожежі на маслоприймачах маслонаповнених трансформаторів, базованій на досвіді конструювання теплообмінних апаратів, є температура масла, тобто, система попередження поширення пожежі має ефективно знизити пожежонебезпечну температуру масла до безпечної, тобто нижче температури спалаху, яка за результатами експериментальних досліджень складає 150 °С. На основі рівняння Бернуллі та рівняння балансу енергії створено математичну модель теплообмінника з застосуванням холодоагенту з фазним переходом (випаровуванням).

У *третьому розділі* наведені результати експериментальних досліджень з встановлення закономірностей охолодження температури мінерального трансформаторного масла нижче температури спалаху під час проходження через охолоджуючий контур теплообмінника. Експериментальні дослідження проводилися за розробленою методикою, що дає можливість обґрунтувати параметри системи для зниження температури трансформаторного масла нижче температури спалаху у масло приймачі на створеній експериментальній установці, в якому імітується підвищення температури масла в трансформаторі до аварійного значення 250 °С (температура самозаймання), подальшу розгерметизацію корпусу трансформатора, та витік масла в маслоприймач, в якому воно має охолонути я нижче температури спалаху (150 °С) при проходженні через охолоджуючий контур теплообмінника.

При експериментальних дослідженнях було задіяне трансформаторне масло марки Nytro 11 GX, для діапазону зміни значень температури якого було обрано уточнені результати досліджень на показники пожежної небезпеки, де для масла марки Nytro 11 GX було експериментально визначено температуру спалаху (150 °С) та температуру самозаймання (250 °С). Відповідно до визначених методикою умов проведення експериментальних досліджень критерієм оцінювання ефективності роботи теплообмінника є умова, яка полягає в тому, що температура масла у місці виходу з теплообмінника не повинна перевищувати температуру спалаху (150 °С). Експеримент виконували чотири рази, і за його результатами встановлено закономірності зниження температури мінерального трансформаторного масла нижче температури спалаху під час проходження через охолоджуючий контур теплообмінника.

У *четвертому розділі* на основі отриманих у розділах 2 та 3 результатів визначено діапазон значення коефіцієнта теплопередачі теплообмінника який забезпечить охолодження трансформаторного масла від 250 °С до 150 °С для об'єму масла від 200 л та 60000 л. На основі отриманих даних проведено повний факторний обчислювальний експеримент, за результатами якого встановлено математичну модель залежності площі охолоджуючого контуру теплообмінника, що забезпечує при пожежі охолодження трансформаторного масла нижче температури спалаху від об'єму трансформаторного масла та діаметра гофрованих трубок теплообмінника. Отримана математична модель дозволяє здійснювати уточнене прогнозування закономірності охолодження трансформаторного масла в теплообміннику в умовах його аварійного витоку під час пожежі і може бути реалізована для проектування ефективності системи

попередження поширення пожежі на маслонаповнених трансформаторних підстанціях, здатних замінити засипку з гірських порід. На основі отриманої математичної моделі обґрунтовано довідкову таблицю для визначення конструктивних параметрів теплообмінника, що забезпечує охолодження при пожежі трансформаторного масла нижче температури його спалаху, тобто, розроблено методичні підходи для проєктування ефективності системи попередження поширення пожежі на маслонаповнених трансформаторних підстанціях та на основі цього сформульовано пропозиції щодо внесення змін до Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) стосовно можливості застосування на маслоприймачах трансформаторних підстанцій теплообмінної системи на основі гофрованих трубок з нержавіючої сталі з наповненням водою замість засипки з гірських порід. За розрахунками економічного ефекту встановлено, що система попередження поширення пожежі на маслоприймачі трансформатора на основі гофрованих трубок на 52,5 % є вигіднішою за засипку з гірських порід у разі проведення процедури періодичного промивання та на 71,7 % у разі процедури повної заміни.

Завдяки виконаним дослідженням було обґрунтовано та запропоновано удосконалення системи попередження поширення пожежі на маслоприймачах.

Зауваження :

1. Відкритим залишається питання економічного ефекту від запропонованого технічного рішення стосовно заміни засипки з гірських порід на теплообмінну систему.

2. Залишилося відкритим питання чи враховувався тільки конвективний теплообмін чи і випромінювальний при створенні математичної моделі тепломасообміну у експериментальній установці.

3. З тексту дисертації незрозуміло, чи можуть бути використані результати експериментальних досліджень, взявши до уваги ємність об'єму експериментальної установки становить 100 л, а найменші розміри ємності існуючих установок від 200 л.

Всі наведені зауваження аж ніяк не впливають на позитивну оцінку дисертації. Зауваження можуть бути предметом подальших досліджень автора.

Оцінка мови і стилю дисертації.

Мова та стиль викладення відповідає критеріям науковості: логічність викладення положень, об'єктивність, послідовність. Структуру роботи загалом можна схарактеризувати як таку, що логічно підпорядковується поставленій меті. Композиція розділів відповідає послідовності конкретних завдань, що успішно вирішуються. Основні теоретичні положення не є суперечливими, оскільки вони аргументовані й підкріплені висновками роботи.

Відомості про дотримання академічної доброчесності.

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

Відповідність змісту дисертації спеціальності з відповідної галузі знань, з якої вона подається до захисту.

Зміст дисертації відповідає чинним вимогам до оформлення дисертації, встановленим у галузі знань 26 Цивільна безпека, спеціальності 261 Пожежна безпека.

Висновки щодо дисертаційної роботи.

Вважаю, що дисертація Іллюченка Павла Олександровича на тему «Удосконалення системи попередження поширення пожежі на маслоприймачах» є завершеною науковою працею, яка містить низку нових, актуальних та достовірних результатів, що свідчать про її складність, систематичність та важливе значення для сфери пожежної безпеки. Дисертація повністю 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», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01.2022 та рекомендована мною для офіційного захисту в разовій спеціалізованій вченій раді.

Автор дисертації Іллюченко Павло Олександрович заслуговує присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 261 - Пожежна безпека, галузі знань 26 –Цивільна безпека.

Рецензент:

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри фізико-математичних
дисциплін навчально-наукового інституту
управління та безпеки населення
Національного університету
цивільного захисту України
«10» квітня 2025 р.

Яна ЗМАГА

