

Голові спеціалізованої вченої ради Д 35.874.01
у Львівському державному університеті
безпеки життєдіяльності
Державної служби України
з надзвичайних ситуацій,
доктору технічних наук, професору
КОВАЛИШИНУ Василю Васильовичу
79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

Здобувач: **КЛИМАСЬ Руслан Володимирович**
Тема дисертаційної роботи:
**«Удосконалення методу прогнозування
припинення та поширення горіння системою
вогнеперешкоджання на маслонаповнених
трансформаторних підстанціях»**
Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук
Спеціальність: **21.06.02 – пожежна безпека**
Офіційний опонент: кандидат технічних наук,
доцент **ВЕСЕЛІВСЬКИЙ Роман Богданович**

Дисертаційна робота **КЛИМАСЯ** Руслана Володимировича «Удосконалення методу прогнозування припинення та поширення горіння системою вогнеперешкоджання на маслонаповнених трансформаторних підстанціях» складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації складає 169 сторінок, із них 119 сторінок основного тексту. Робота містить 43 рисунки,

17 таблиць і 5 додатків. Список використаних джерел становить 157 найменувань. Загальний обсяг автореферату – 24 сторінки.

1. Актуальність теми дослідження

Дисертацію КЛИМАСЯ Руслана Володимировича присвячено вирішенню актуального науково-прикладного завдання – розкриттю закономірностей охолодження та припинення горіння трансформаторного масла залежно від параметрів гравійної засипки маслоприймача на маслонаповнених трансформаторних підстанціях.

Відомо, що трансформатори являють собою критично важливу ланку між потужностями, що забезпечують генерування електроенергії, а також розподільчими мережами та лініями електропередачі. В той же час, трансформатори є одними із найбільш пожежонебезпечних видів обладнання на маслонаповнених трансформаторних підстанціях (дані про пожежі свідчать, що 50 % пожеж в енергетичній галузі припадає на трансформаторне обладнання).

Припинення й обмеження поширення горіння трансформаторного масла досягається застосуванням системи вогнеперешкоджання, що складається з маслоприймача, масловідводів і вогнезагороджувача, в якості якого використовується маслосбірник із металевою решіткою, поверх якої улаштовано гравійну засипку. В Україні вимоги щодо непоширення пожежі під час аварій на маслонаповнених трансформаторних підстанціях наведені у *Правилах улаштування електроустановок (ПУЕ)*.

Питаннями запобігання виникненню пожеж та їх гасіння в електроустановках, обмеження поширення пожеж на суміжні споруди, зокрема на маслонаповнених трансформаторах, займалися як вітчизняні, так і зарубіжні вчені. Однак, у цих працях недостатньо досліджені процеси тепломасообміну для забезпечення ефективного відведення тепла трансформаторного масла, що проходить через вогнезагороджувач під час аварії на трансформаторних підстанціях, і не виявлені закономірності зниження температури масла до нижчої за його температуру спалаху залежно від параметрів гравійної засипки.

Це підтверджує необхідність проведення досліджень, спрямованих на розкриття закономірностей припинення горіння трансформаторного масла залежно від параметрів гравійної засипки маслоприймача.

2. Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, які сформульовані у дисертації

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, одержаних висновків, рекомендацій і пропозицій, сформульованих у дисертації, підтверджується результатами аналізу літературних джерел; відповідністю методів дослідження поставленим в роботі меті та завданням; застосуванням аналітичних методів досліджень; необхідним об'ємом експериментальних досліджень, виконаних з використанням верифікованого обладнання та каліброваних засобів вимірювальної техніки; задовільною збіжністю результатів теоретичних та експериментальних досліджень, а також апробацією та практичним впровадженням результатів роботи.

Здобувачем для досягнення мети та вирішення наукового завдання в ході роботи використано комплексний метод досліджень, який включав: аналіз довідкових даних і нормативних документів, якими регламентовано методи тепломасообміну між речовинами та матеріалами; експериментальні дослідження з визначення зниження температури масла залежно від параметрів гравійної засипки маслоприймача; стандартизовані методи експериментального визначення показників пожежної небезпеки трансформаторного масла; математичне моделювання процесів тепломасообміну між маслом та гравійною засипкою маслоприймача; метод дихотомії; метод аналізування на наявність викидів та квазивикидів у результатах досліджень (Граббса); метод виявлення розбіжностей між дисперсіями результатів досліджень (Фішера); метод планування експерименту (повний факторний експеримент); методи математичної статистики для обробляння результатів експериментальних досліджень.

3. Новизна, обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які сформульовані у дисертації

Наукова значимість дисертаційної роботи Климася Р.В. полягає у створенні передумов удосконалення методу прогнозування ефективності систем вогнеперешкоджання на маслонаповнених трансформаторних підстанціях шляхом розкриття закономірностей охолодження, припинення й обмеження поширення горіння трансформаторного масла залежно від параметрів гравійної засипки системи вогнеперешкоджання.

Положення, викладені в дисертаційній роботі, відповідають пунктам 1 і 2 *Напрямків досліджень* паспорту спеціальності 21.06.02 – пожежна безпека.

При цьому здобувачем уперше:

- встановлено, що залежність температури охолодження трансформаторного масла, що горить, у маслоприймачі від ширини (d), висоти (h) гравійної засипки та ухилу (i) має вигляд:

$$\theta = 333,8 - 0,16d - 0,21h - 847,8i + 0,00039dh + 2,52di - 0,1hi - 0,0084dhi;$$

- встановлено, що зниження температури трансформаторного масла, що горить, залежно від відстані (ширини d), яку воно проходить від входу у гравійну засипку маслоприймача до маслозбірника, описується поліноміальною залежністю 3-го порядку, що має вигляд:

$$\Delta\theta = 263,16 - 39,1d + 2,7d^2 - 0,005d^3;$$

- обґрунтовано геометричні параметри гравійної засипки системи вогнеперешкоджання трансформаторної підстанції, за яких температура трансформаторного масла знижується до безпечної величини (від 250 °С до 150 °С), а саме: мінімальні розміри гравійної засипки: ширина 1500 мм, висота 250 мм, ефективний ухил маслоприймача у бік маслозбірника 0,05 м/м.

Удосконалено теоретичні підходи оцінювання умов охолодження та припинення горіння трансформаторного масла у гравійній засипці системи вогнеперешкоджання маслонаповнених трансформаторних підстанцій.

Набули подальшого розвитку параметричні методи нормування у будівництві в частині зниження температури трансформаторного масла від

параметрів гравійної засипки системи вогнеперешкодження маслonaповнених трансформаторних підстанцій для підвищення її ефективності в умовах пожежі.

Одержані автором наукові результати підтверджують теоретичну значимість та обґрунтованість проведених досліджень.

Наукові результати проведених досліджень мають хороший збіг отриманих теоретичних та експериментальних даних, апробовані в публікаціях автора, обговорювалися й отримали позитивне схвалення на міжнародних і національних наукових конференціях.

4. Практична цінність результатів дослідження

Реальна практична цінність отриманих дисертантом результатів досліджень для практики підтверджується актами впровадження, які наведено в додатку до дисертації.

Так, результати проведених досліджень впроваджені у практичну діяльність компанії ТОВ «Проенерджі» (м. Київ), головним напрямом якої є проєктування повітряних ліній електропередачі, підстанцій та інших об'єктів електромереж напругою 35-750 кВ (акт від 01.09.2021), а також науково-випробувальному центрі Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту (м. Київ) у сфері проведення випробувань на пожежну небезпеку (акт від 20.09.2021). Результати проведених досліджень також впроваджені у діяльність Департаменту запобігання надзвичайним ситуаціям Державної служби України з надзвичайних ситуацій (акт від 30.12.2021), та в освітній процес Черкаського інституту пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України за освітньо-науковою програмою «Пожежна безпека» під час вивчення дисциплін «Моделювання процесів горіння» (акт від 15.06.2022).

Під час виконання роботи створено експериментальний стенд, що дозволяє досліджувати процеси тепломасообміну трансформаторного масла у гравійній засипці маслоприймача.

5. Оцінка ідентичності змісту автореферату та основних положень дисертації

Зміст автореферату ідентичний основним положенням дисертації КЛИМАСЯ Руслана Володимировича «Удосконалення методу прогнозування припинення та поширення горіння системою вогнеперешкодження на маслонаповнених трансформаторних підстанціях», містить усю необхідну для оцінки дисертаційної роботи інформацію.

Загальний обсяг автореферату становить 24 сторінки, із них 21 сторінка основного тексту; містить 13 рисунків, 7 таблиць та список опублікованих праць за темою дисертації, що складається з 10 найменувань.

Автореферат оформлений згідно з вимогами Департаменту атестації кадрів вищої освіти Міністерства освіти і науки України.

6. Оцінка змісту дисертації, її завершеність в цілому, відповідність встановленим вимогам оформлення дисертації

Дисертаційна робота КЛИМАСЯ Руслана Володимировича складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел (157 найменувань) і 5 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 169 сторінок, із них 119 сторінок основного тексту, 43 рисунки та 17 таблиць.

У **вступі** дисертаційної роботи наведено: актуальність теми, її зв'язок з науковими програмами та планами, мету, завдання, об'єкт і предмет досліджень, наукову новизну та практичну значимість одержаних результатів, відомості про апробацію та публікацію результатів досліджень.

У **першому розділі** представлено аналіз сучасного стану та підходів до обмеження поширення пожеж на маслонаповнених трансформаторних підстанціях; наведено статистичні дані про пожежі в енергетичній галузі, зокрема на трансформаторному обладнанні.

За результатами проведеного аналізу пожеж та їх наслідків, що виникають під час експлуатації маслонаповнених трансформаторів, вимог вітчизняної та зарубіжної нормативної бази щодо конструктивних параметрів

площадок маслоприймачів стверджується, що сучасні підходи до обмеження поширення пожежі під час аварій на маслонаповнених трансформаторних підстанціях недостатні й економічно затратні для мінімізації наслідків горіння розливів трансформаторного масла, та повинні отримати подальший розвиток під час обґрунтування мінімальних геометричних параметрів гравійної засипки маслоприймачів трансформаторних підстанцій, що мають виконувати функцію припинення горіння та забезпечувати охолодження масла нижче температури спалаху.

У **другому розділі** висвітлені теоретичні дослідження умов припинення й обмеження поширення пожежі на маслонаповнених трансформаторних підстанціях. Встановлено перелік параметрів, що слід враховувати під час дослідження залежності зниження температури трансформаторного масла від геометричних параметрів гравійної засипки, а також критерій оцінювання ефективності заходів по припиненню й обмеженню поширення пожежі у разі виникнення аварій на маслонаповнених трансформаторних підстанціях.

За критерій ефективності системи обмеження поширення пожежі прийнято умову досягнення значення температури масла, що горить, меншого за температуру його спалаху, обґрунтування показника якого проводилося за методом, встановленим ДСТУ 8829:2019.

Для теоретичного опису процесу тепломасообміну між маслом та гравійною засипкою з метою обґрунтування її ширини та висоти у якості математичної моделі використано рівняння руху та рівняння нерозривності потоку, що описуються системою диференціальних рівнянь Нав'є-Стокса, що доповнюються математичними моделями з урахуванням сукупних явищ.

Теоретичне визначення ефективного ухилу маслоприймача у бік маслозбірника проводилося за адаптивною формулою для прямокутних каналів. Для проведення розрахунків використано програмне забезпечення Flow Vision.

У **третьому розділі** наведено результати математичного моделювання процесу тепломасообміну між трансформаторним маслом і гравійною засипкою маслоприймача, а також зниження температури масла залежно від

геометричних параметрів гравійної засипки маслоприймача, розрахунок процесу якого проводився у 2 етапи. В результаті чого встановлено, що трансформаторне масло з температурою у $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ на вході в шар гравійної засипки маслоприймача при проходженні через вогнезагороджувач з геометричними розмірами $1500\text{ мм}\times 250\text{ мм}$ охолоджується до температури $148\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Результатами проведених розрахунків підтверджено, що ефективний ухил маслоприймача у бік маслосбірника має становити $0,05\text{ м/м}$.

З використанням запропонованих математичних моделей проведено повний факторний експеримент, у результаті чого отримано залежність зниження температури трансформаторного масла у маслоприймачі від його ухилу, ширини та висоти гравійної засипки.

У **четвертому розділі** представлено результати експериментальних досліджень з обґрунтування мінімальних геометричних параметрів гравійної засипки маслоприймача трансформаторної підстанції, проведених за попередньо розробленою методикою. Експериментальні дослідження проводилися на спеціально створеному дослідному стенді, що імітує аварійну ситуацію у трансформаторі за підвищення температури масла до значення температури самозаймання у $250\text{ }^{\circ}\text{C}$, його розгерметизацію з виливом масла у маслоприймач із послідуєчим його загоранням.

За результатами експериментальних досліджень встановлено залежність зниження температури трансформаторного масла від відстані його проходження гравійною засипкою маслоприймача.

У **п'ятому розділі** на основі отриманих результатів досліджень і розроблених методичних підходів до прогнозування ефективності системи вогнеперешкоджання маслосповнених трансформаторних підстанцій на відміну від застосовуваних на практиці унормованих вимог щодо запобігання розвитку пожеж на таких об'єктах встановлено мінімально-необхідні параметри гравійної засипки маслоприймача. Сформульовано пропозиції щодо внесення змін до *Правил улаштування електроустановок (ПУЕ)*.

У додатках міститься допоміжний матеріал, необхідний для повного розуміння предмету дослідження, а також акти впровадження результатів дисертаційного дослідження у практичну діяльність і освітній процес.

Робота характеризується цілісністю та логічністю викладеного матеріалу. Оформлення дисертації відповідає діючим вимогам. Сформульовані завдання для досягнення поставленої мети – вирішені у повному обсязі. Одержані результати та висновки дисертаційної роботи вказують на завершеність наукової праці.

7. Аналіз наукових публікацій та повнота подання основних наукових положень, висновків, рекомендацій в роботах, що опубліковано

Проведений аналіз наукових праць здобувача показав, що основні результати дисертаційної роботи одержано автором самостійно та у повному обсязі відображено в публікаціях.

Основні положення дисертаційної роботи викладені у 10 наукових працях, із них: статей, що індексуються в міжнародних наукометричних базах (МНБ) – 1; статей у спеціалізованих наукових фахових виданнях України – 5; публікацій за матеріалами наукових конференцій – 4.

Аналіз публікацій Климася Р.В. свідчить про достатню повноту висвітлених у них змісту роботи та наукових результатів, отриманих у дисертації.

Вимоги до повноти викладення наукових і прикладних результатів кандидатської дисертації в опублікованих роботах виконано, що надає авторові право публічного її захисту.

8. Рекомендації щодо застосування результатів і висновків дисертації

Значимість дисертаційної роботи зумовлена внеском у розробку теоретичних положень і методичних підходів до прогнозування ефективності системи перешкоджання пожежі на маслонаповнених трансформаторних підстанціях, що можуть бути рекомендовані для використання на практиці під час проєктування підстанцій чи інших об'єктів електромереж.

Наукові положення та висновки, рекомендуються для включення в навчальні плани, освітні програми та програми дисциплін за спеціальністю 263 «Цивільна безпека» у закладах вищої освіти України.

9. Зауваження щодо змісту і оформлення дисертації та автореферату

Відзначаючи позитивні сторони дисертаційної роботи Климася Р.В., слід зазначити, що вона не позбавлена певних недоліків, перелічених нижче.

1. У дисертації обґрунтовано геометричні параметри гравійної засипки системи вогнеперешкоджання трансформаторної підстанції, за яких температура трансформаторного масла знижується до безпечної величини – від 250 °С до 150 °С. Але незрозуміло, якщо масло при аварійному режимі роботи трансформатору буде нагріте, наприклад, до 270 °С, чи будуть забезпечені умови його охолодження до 150 °С?

2. У першому розділі дисертації не висвітлено досвід захисту трансформаторних підстанцій по припиненню й обмеженню поширення пожежі під час аварій на них іншими технічними рішеннями чи способами гасіння.

3. У третьому розділі дисертації недостатньо інформації з обґрунтування розмірів розрахункової сітки під час моделювання процесу тепломасообміну між трансформаторним маслом і гравійною засипкою маслоприймача.

4. На рисунку 3.11 дисертації (він же рисунок 8 автореферату) наведено залежність витрати трансформаторного масла під час проходження гравійною засипкою від ухилу маслоприймача. Чітко незрозуміло, що показує цей графік? Що відображає червона пряма та синя крива лінії?

5. У п'ятому розділі дисертації під час оцінювання економічної ефективності зміни параметрів гравійної засипки маслоприймачів не зовсім зрозуміло, за рахунок яких показників отримано економічний ефект. Що з чим порівнювалося?

6. З тексту дисертації й автореферату не зрозуміло, яку математичну модель було побудовано в роботі: модель тепломасообміну між маслом, що горить, та гравійною засипкою; процесу тепломасообміну між трансформаторним маслом і гравійною засипкою маслоприймача; процесу

проходження трансформаторного масла через вогнезагороджувач; чи модель процесу тепломасообміну у потоках трансформаторного масла у гравійній засипці системи вогнеперешкоджання трансформаторної підстанції.

Незважаючи на вказані зауваження та недоліки, загальна оцінка дисертаційної роботи є позитивною.

10. Загальні висновки і оцінка дисертації

Дисертаційна робота КЛИМАСЯ Руслана Володимировича «Удосконалення методу прогнозування припинення та поширення горіння системою вогнеперешкоджання на маслонаповнених трансформаторних підстанціях» відповідає паспорту спеціальності 21.06.02 – пожежна безпека. Зміст автореферату відповідає змісту дисертаційної роботи. Публікації повною мірою відображають результати досліджень. Основні положення дисертаційної роботи достатньо апробовані. Дисертаційна робота оформлена із додержанням необхідних вимог, прийнятих правил і норм.

Дисертаційна робота КЛИМАСЯ Руслана Володимировича є завершеним науковим дослідженням, що вирішує актуальне науково-прикладне завдання, пов'язане з локалізацією пожеж на маслонаповнених трансформаторних підстанціях на основі розкриття закономірностей охолодження та припинення горіння трансформаторного масла залежно від параметрів гравійної засипки маслоприймача. Результати досліджень можуть бути основою для подальших розвідок зазначеної предметної галузі.

За рівнем наукової новизни, якістю проведених досліджень, достовірністю й обґрунтованістю сформульованих висновків, теоретичною та практичною цінністю дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12, 13, 14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567 (зі змінами), та «Вимогам до оформлення дисертації», затверджених наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 № 40, а її автор, КЛИМАСЬ Руслан Володимирович,

заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека.

Офіційний опонент

Доцент кафедри наглядово-профілактичної діяльності навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, кандидат технічних наук, доцент

Роман ВЕСЕЛІВСЬКИЙ

Підпис доцента Веселівського Р.Б. засвідчую, Учений секретар ЛДУБЖД, кандидат історичних наук, доцент



Роман ЛАВРЕЦЬКИЙ

08.11.2022