УДК 614.841.123.24 **DOI 10.33042/2522-1809-2021-4-164-158-165**

Р.В. Климась, В.В. Ніжник, Я.В. Балло, Д.Г. Хроменков, Ю.Б. Гулик, Н.М. Ільченко

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, Україна

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ОБҐРУНТУВАННЯ МІНІМАЛЬНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГРАВІЙНОЇ ЗАСИПКИ У МАСЛОПРИЙМАЧІ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІЇ

Проаналізовано існуючі підходи до обмеження поширення пожежі на маслонаповнених трансформаторних підстанціях. Розроблено проєкт методики та проведено експериментальні дослідження з обґрунтування мінімальних геометричних параметрів гравійної засипки у маслоприймачі трансформаторної підстанції. Методика дозволяє визначити зміни температури трансформаторного масла від геометричних параметрів маслоприймача, що має виконувати функцію вогнезагороджувача й охолодження масла нижче температури спалаху.

Ключові слова: *трансформаторна підстанція, маслоприймач, гравійна засипка.*

Постановка проблеми

З кожним роком обладнання українських систем електроенергетики зношується, що в свою чергу збільшує ймовірність виникнення аварійних ситуацій, зокрема, пожеж. Так, за результатами аналізу інформаційно-аналітичних матеріалів щодо стану пожежної та техногенної безпеки в паливно-енергетичному комплексі останніх п’яти років [1] встановлено, що близько 47 % пожеж виникає на підприємствах електричних мереж.

Статистичні дані про пожежі свідчать, що в Україні 50 % від пожеж в енергетичній галузі припадають на трансформаторне обладнання [2]. Для прикладу, в Російській Федерації питома вага пожеж на трансформаторних підстанціях складає 36,5 % від кількості пожеж на об’єктах електроенергетичного комплексу [3]. Як правило, такі пожежі супроводжуються аварійним виливом масла із трансформатора та його загорянням.

Аналіз причин та обставин виникнення пожеж під час аварій на маслонаповнених трансформаторних підстанціях показав, що основними їх причинами є коротке замикання в електричних колах чи електроустаткуванні, перевантаження електричної мережі або розгерметизація корпусу обладнання внаслідок корозії, що супроводжується розливом трансформаторного масла та його загорянням. У випадку загоряння трансформаторне масло може сприяти розвитку пожежі та її поширенню на суміжні будівлі чи споруди на території станції.

В Україні вимоги щодо непоширення пожежі під час аварій на маслонаповнених трансформаторних підстанціях наведені у *Правилах улаштування електроустановок* [4], а саме зазначено, що на території відкритих розподільних установок і підстанцій, на яких у нормальних умовах експлуатації із маслонаповнених силових трансформаторів і вимикачів у період проведення ремонтних та інших робіт можуть траплятися випадки витікання масла, потрібно передбачати пристрої для збирання і видалення масла для унеможливлення розтікання його по території і попадання у водойми. Для запобігання розтіканню масла і поширенню пожежі під час пошкодження маслонаповнених силових трансформаторів з кількістю масла понад 1 т в одиниці (в 1-му баку) потрібно застосовувати маслоприймачі з відведенням масла масловідводами в маслозбірники. Дно маслоприймача повинно мати ухил, не менше 0,005 м/м, у бік приямка та бути засипаним чистим гравієм чи промитим гранітним щебенем з частками розміром від 30 мм до 70 мм. Товщина засипки повинна бути не менше ніж 250 мм [4].

Разом із тим, гравій чи щебінь унаслідок впливу оточуючого середовища постійно забруднюється, чим погіршує свою пропускну й охолоджувальну здатність; це зумовлює його періодичне збирання, промивання, сушку, засипку, що є трудомістким й економічно затратним. Передбачений ухил в 0,005 м/м у бік маслоприймача, що відповідає значенню 5 мм висоти на 1 м довжини, не може, навіть, задовольнити вимог *ДБН В.2.5-74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення до проектування* щодо забезпечення відводу дощових вод і води, що утворюватиметься під час танення снігу. Також, *Правилами улаштування електроустановок* [4] дозволяється не засипати дно маслоприймачів по всій площі гравієм, але не вказані геометричні параметри таких відхилень.

 © Климась Р.В., Ніжник В.В., Балло Я.В., Хроменков Д.Г., Гулик Ю.Б., Ільченко Н.М.

Тому, визначені у [4] конструктивні та геометричні параметри маслоприймачів з відведенням масла масловідводами можуть бути предметом для їх удосконалення. А дослідження, спрямовані на розкриття закономірностей зміни температури трансформаторного масла від параметрів і характеристик маслоприймача, є перспективними.

Таким чином розроблення методики експериментальних досліджень з обґрунтування мінімальних геометричних параметрів гравійної засипки у маслоприймачі, як підґрунтя для підвищення ефективності системи обмеження поширення пожежі на трансформаторних підстанціях, – є актуальною науковою задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проведений аналіз наукових праць показав, що питаннями забезпечення пожежної безпеки об'єктів електроенергетики, запобігання виникненню пожеж, гасіння пожеж в електроустановках, обмеження поширення пожеж на суміжні споруди, оцінювання ризиків виникнення пожеж на трансформаторних підстанціях, зокрема маслонаповнених трансформаторах, займалися вітчизняні та зарубіжні вчені, такі як: Булгаков А.Б., Варнакова Д.А., Душкін А.Л., Зозуля Д.В., Кашолкін Б.І., Мешалкін Є.О., Ніжник В.В., Соколов В.В., Філянович Л.П., Хісматуллін А.С., Черкасов В.М., Heinz-Peter Berg, Marc Foata, Nicole Fritze та ін.

Зокрема, в праці [5] розглянуто питання пожежної безпеки об'єктів електроенергетики на основі аналізу аварійних режимів, особливості розвитку та гасіння пожеж в електроустановках; приведені способи та засоби гасіння таких пожеж, а також необхідні витрати вогнегасних речовин. У роботі Варнакової Д.А. [3] приділено увагу гасінню пожеж саме на трансформаторних підстанціях, причому зазначається, що руйнування масляних баків або вилив масла є найгіршим варіантом розвитку подій з причини розтікання масла по території підстанції.

Питання пожежної небезпеки силових трансформаторів досліджував Філянович Л.П. [6].

У підручнику за загальною редакцією Черкасова В.М. [7] наведені нормативні обґрунтування й інженерні рішення по забезпеченню пожежної безпеки електроустановок і захисту будівель та споруд від блискавок і статичної електрики.

Підвищенню ефективності систем охолодження потужних силових масляних трансформаторів присвячені роботи Хісматулліна А.С. [8, 9]. Проблеми надійності потужних силових трансформаторів розглянуто у роботах Соколова В.В. [10, 11]. Над підвищенням надійності трансформаторів на АЕС України працює Зозуля Д.В., зокрема, дослідження їх аварійності [12] дозволили визначити «зони ризику» обладнання та запропонувати діагностичні методи контролю терміну служби трансформаторного обладнання.

Дослідження надійності силових трансформаторів і наслідків аварійних ситуацій, пов'язаних із вибухами силових трансформаторів, висвітлено у працях H. Berg і N. Fritze [13, 14], які відзначають, що останніми роками ймовірність відмов трансформаторів зросла через їх старіння чи зовнішні небезпеки. Запобіганням розривів резервуарів силових трансформаторів присвячена доповідь M. Foata [15].

Обмеженню поширення пожеж на суміжні об'єкти присвячені праці Ніжника В.В. [16, 17], але в них не розглядалося питання розповсюдження пожежі між суміжними спорудами під час аварій на маслонаповнених трансформаторних підстанціях.

Результати експериментальних досліджень щодо ефективності гасіння маслонаповнених трансформаторів з урахуванням охолодження його розігрітих елементів тонкорозпиленою водою висвітлені в праці [18], причому авторами визначено час, необхідний для надійного гасіння й охолодження нагрітих частин трансформатора до температури нижчої за температуру самозаймання масла для потоку тонкорозпиленої води, та отримано значення зміни теплового потоку.

В цілому, аналіз підходів щодо обмеження поширення пожежі під час аварій на маслонаповнених трансформаторних підстанціях показав, що відкритий маслонаповнений трансформатор повинен бути відокремлений від сусідніх трансформаторів та один від одного бар'єрами, просторовим розділенням або іншими засобами з метою обмеження шкоди та потенційного розповсюдження пожежі через його несправність [19].

Однак, у цих працях не приділено уваги поведінці під час аварій на маслонаповнених трансформаторних підстанціях при розгерметизації трансформатора з подальшим виливанням масла у маслоприймач та його проходженням через вогнезагороджувач з метою виявлення закономірності зниження температури до нижчої за температуру спалаху масла в залежності від геометричних параметрів гравійної засипки.

Хоча в навчальному посібнику [20] наведено розрахунки маслоприймачів (без відводу та з відводом трансформаторного масла), масловідводів і маслозбірників із зазначенням їх геометричних параметрів, а також вимоги до гравійної засипки. Разом із тим, розрахунки для систем відводу масла від трансформаторів наведені за рекомендаціями ще 1990 року [21].

Тож, за результатами проведеного аналізу можна стверджувати, що існуючі підходи до

обмеження поширення пожежі під час аварій на маслонаповнених трансформаторних підстанціях недостатні й економічно затратні для мінімізації наслідків горіння розливів трансформаторного масла.

Формулювання мети статті

Аналіз останніх досліджень і вимог вітчизняної та зарубіжної нормативної бази щодо конструктивних параметрів площадок маслоприймачів дозволяє припустити, що вдосконалення наявних інженерних рішень по облаштуванню маслоприймача, який має виконувати функцію вогнезагороджувача та охолодження масла нижче температури спалаху, створить передумови для підвищення ефективності системи обмеження поширення пожежі у разі виникнення аварій на маслонаповнених трансформаторних підстанціях.

Метою даної статті є визначення основних положень методики експериментальних досліджень обґрунтування мінімальних геометричних параметрів гравійної засипки у маслоприймачі трансформаторної підстанції.

Кінцева мета дослідження полягає у виявленні закономірностей зміни температури трансформаторного масла від параметрів і характеристик маслоприймача, що має виконувати функцію вогнезагороджувача й охолодження масла нижче температури спалаху.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- визначити тип і кількість необхідного обладнання та засобів вимірювальної техніки (ЗВТ);
- визначити конструкцію та місце розташування дослідного стенду;
- встановити необхідну кількість трансформаторного масла й об'єм щебеню;
- обґрунтувати порядок проведення експериментальних досліджень впливу геометричних параметрів гравійної засипки у маслоприймачі на зміну температури трансформаторного масла;
- обґрунтувати діапазон зміни значень температури трансформаторного масла.

Виклад основного матеріалу

Сутність методу експериментальних досліджень полягає у виявленні закономірностей зниження температури горіння трансформаторного масла до температури нижче температури спалаху в залежності від геометричних параметрів гравійної засипки маслоприймача під час зливання масла в аварійну ємкість (маслозбірник).

Проведення експериментальних досліджень забезпечувалося засобами вимірювальної техніки, характеристики яких наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристики засобів вимірювальної техніки

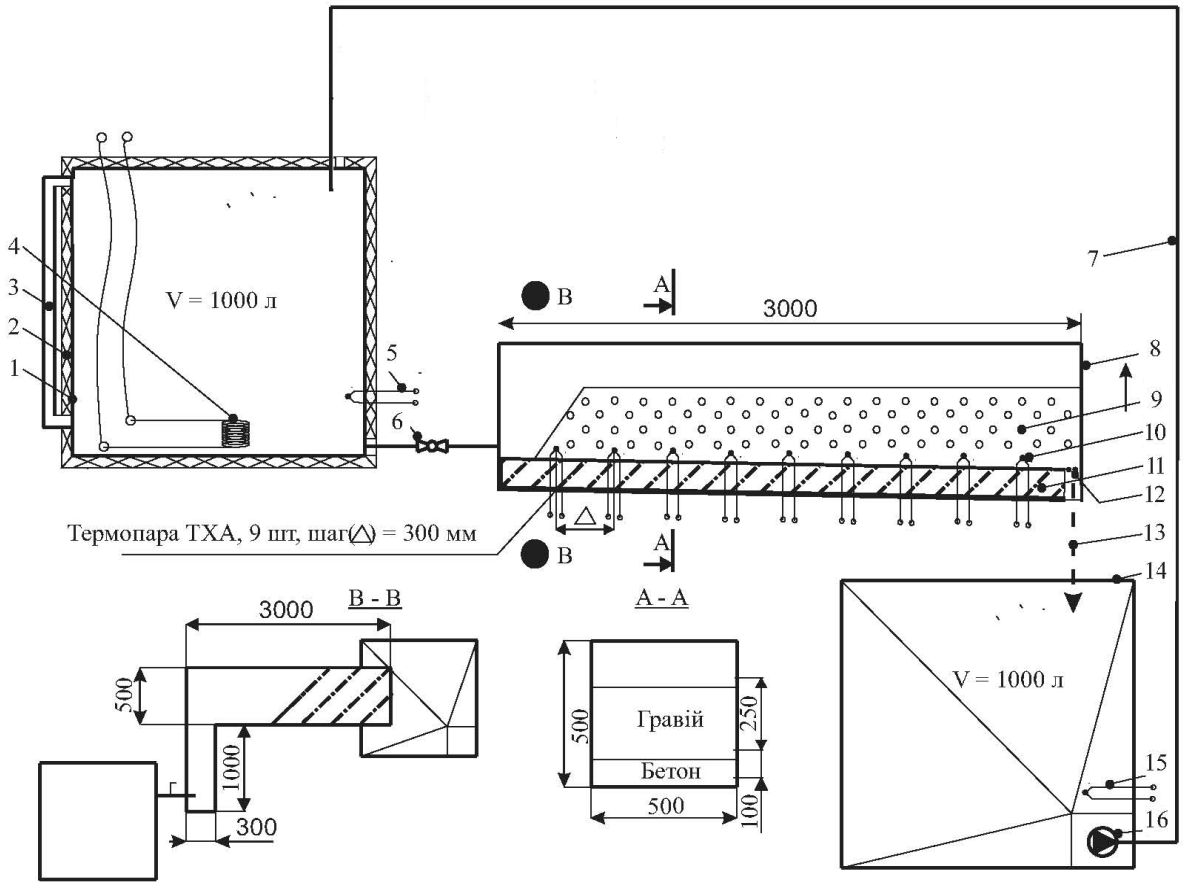
Найменування ЗВТ	Призначення ЗВТ	
	діапазон вимірювання	клас точності ЗВТ, невизначеність / похибка
Анемометр цифровий AR856	вимірювання швидкості вітру	
	від 0,3 м/с до 45 м/с	U = 0,82 м/с / Δ = ± 0,2 м/с
Барометр-анероїд М67	вимірювання атмосферного тиску	
	від 610 мм рт. ст. до 790 мм рт. ст.	U = 0,52 мм рт. ст. / Δ = ± 1 мм рт. ст.
Інформаційно-вимірювальна система «Термоконт»	реєстрація температури	
	від 0 °С до 1200 °С	U = 0,14 °С / Δ = ± 0,35 %
Перетворювачі термоелектричні ТХА	вимірювання температури	
	від 0 °С до 333 °С, від 334 °С до 1200 °С	U = 1,74 °С / Δ = ± 2,5 °С; Δ = ± 0,0075·$T_{вим}$ °С
Рулетка «Stanley»	вимірювання довжини	
	від 0 м до 60 м	U = 0,30 мм / Δ = ± 1 мм
Секундомір СОС пр. 2Б-2-010	вимірювання часу	
	від 0 с до 3600 с; від 0 с до 60 с; більше 60 с	2 клас точності; U = 0,163 с / Δ = ± (0,4·$\tau_{вим}$ / 60) с; Δ = (0,4+1,5·($\tau_{вим}$-60)/ 3540) с
Термогігрометр Testo 608-H1	вимірювання температури та вологості	
	від 0 °С до 50 °С від 2 % до 98 %	U = 0,3 °С / Δ = ± 0,5 °С U = 1,3 % / Δ = ± 3 %
Фотовідеокамера Nikon D3110 18-55VR Kit	здійснення відео- та фотофіксації	
	14,2 пікс.	–

Експеримент імітує аварійну ситуацію у трансформаторі за підвищення температури масла до аварійного значення ($T_{самозаймання}$ > 270 °С), його розгерметизацію з подальшим виливом масла у маслоприймач із послідуючим загорянням масла. Враховуючи, що відповідно до [22] трансформаторне масло є горючою рідиною, до проведення експерименту показники його пожежної небезпеки було конкретизовано шляхом проведення випробувань згідно з *ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація*, у результаті чого з'ясовано, що $T_{спалаху}$ зразку трансформаторного масла типу Nytro 11GX, який використовувався в дослідженнях, складає 150 °С. Це дозволило визначити діапазон зміни значень температури трансформаторного масла: від аварійного значення до нижчої за $T_{спалаху}$ шляхом його охолодження, проходженням у маслоприймачі гравійною засипкою (вогнезагороджувачем). Проходження розігрітого та палаючого масла через вогнезагороджувач маслоприймача відбувалося упродовж тривалості часу не більше ніж 900 с.

Дослідження проводилися за таких умов навколишнього середовища:

- температура: 30 °С;
- відносна вологість повітря: 65 %;
- атмосферний тиск: 101,3 кПа.

Схему дослідного стенду наведено на рис. 1.



1 – корпус ємності для масла; 2 – теплоізоляція; 3 – кварцова трубка для візуального контролю рівня масла; 4 – ТЕН; 5 – термопара; 6 – шаровий кран; 7 – з'єднувальна арматура; 8 – корпус маслоприймача; 9 – гравійна засипка; 10 – термопари; 11 – бетон; 12 – сітка; 13 – траєкторія зливання масла в аварійну ємність; 14 – корпус аварійної ємності; 15 – термопара; 16 – шестеренчастий насос

Рис. 1. Схема дослідного стенду

Експериментальні дослідження проводилися, виходячи із таких принципів:

- над гравійною засипкою (щебенем) не повинно бути полум'яного горіння парів масла;
- температура масла у місці отвору його зливу в аварійну ємкість (маслозбірник) не повинна перевищувати 150 °С.

Експериментальне дослідження розпочиналося та завершувалося за таких параметрів гравійної засипки (щебеню): довжина 1500 мм, висота 250 мм (встановлені за попереднього моделювання).

Дослідження проводились у такому порядку:

- підготовка до проведення експерименту;
- проведення експерименту;
- оцінювання отриманих результатів.

Підготовка до проведення експерименту включала в себе:

- переконання в тому, що шаровий кран (6) знаходиться у закритому положенні, а решітка (12), що перекриває отвір зливу масла в аварійну ємність (маслозбірник), знаходиться у робочому положенні;
- монтування термопар, їх під'єднання до інформаційно-вимірювальної системи «Термоконт», налаштування системи вимірювання температури масла до роботи;
- засипання маслоприймача (8) щебенем;
- заповнення ємності (1) трансформаторним маслом об'ємом в 1000 л;
- встановлення обладнання для проведення фото- та відеофіксації;
- вимірювання та реєстрацію параметрів умов навколишнього середовища;
- перевірку цілісності захисного огородження, встановлення попереджувальних знаків;
- підготовку засобів пожежогасіння, одягання оператора досліджень у захисний одяг (штани, куртка, чоботи, рукавиці, каска);
- нагрівання трансформаторного масла до температури його аварійного значення за допомогою ТЕНа (4), зображення якого наведено на рис. 2;
- підготовку бензину А 92 у кількості 5 л для підпалювання масла, факелу для його підпалювання та металевої ємності з водою для гасіння факелу.

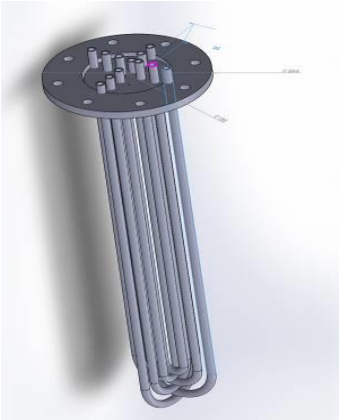


Рис. 2. Зображення блок-ТЕНу 50,0 кВт L850 мм

Проведення експерименту здійснювалось у такій послідовності:

- за досягнення маслом у ємності (1), що імітує трансформатор, температури, наближеної до аварійних значень (більше 250 °С), відкривався шаровий кран (12), за допомогою якого регулювалася така необхідна витрата масла, щоб ємність була звільнена за 900 с;
- паралельно дно маслоприймача підігрівалося горінням бензину А92 в модельному вогнищі класу 25В;
- при потраплянні масла в маслоприймач відбувається його займання, і в цей момент часу розпочиналося вимірювання показників температур термопарами (5, 10, 15), що розташовані у маслоприймачі (8), в отворі зливу масла в аварійну ємність (14) і в самій аварійній ємності.
- за допомогою інформаційно-вимірювальної системи «Термоконт» фіксувалася зміна температури масла під час його проходження через щебінь (9) та візуально фіксувалася наявність полуменевого горіння парів масла над поверхнею щебеню;
- експеримент тривав до моменту повного витікання масла із ємності (1);
- повторювання експерименту забезпечувалося заповненням ємності (1) трансформаторним маслом шляхом його перекачування з аварійної ємності (маслозбірника) за допомогою електронасосу, зображення якого наведено на рис. 3, що приводився в дію асинхронним двигуном ML100L-4.

Рис. 3. Зображення електронасосу НМШ 8-25-6,3/2,5

На рис. 4 наведено зображення дослідного стенду з елементами підготовки до проведення експериментальних досліджень із визначення мінімальних геометричних параметрів гравійної засипки у з'імітованому маслоприймачі.

Рис. 4. Зображення дослідного стенду до експерименту

Експериментальні дослідження із проходження трансформаторного масла через маслоприймач у маслозбірник повторювали шість разів, змінюючи геометричні параметри гравійної засипки від 0 мм до 1500 мм із кроком у 300 мм.

Після закінчення кожного експерименту й охолодження масла та елементів дослідного стенду проводили детальну фотофіксацію. Результати кожного досліду подавалися окремо, з визначенням середнього значення.

Висновки

Представлена методика експериментальних досліджень обґрунтування мінімальних геометричних параметрів гравійної засипки у маслоприймачі трансформаторної підстанції дає змогу визначити зміни температури трансформаторного масла та такі параметри гравійної засипки у маслоприймачі, за яких на виході трансформаторного масла з неї в отвір зливу масла в аварійну ємність процес горіння відсутній, а температура масла є нижчою за температуру спалаху у 150 °С.

У подальшому передбачається провести оцінювання отриманих результатів представлених експериментальних досліджень, що буде предметом наступної роботи.

Література

1. *Інформаційно-аналітичні матеріали Міністерства енергетики України щодо стану пожежної та техногенної безпеки в паливно-енергетичному комплексі. [Електронний ресурс]. Режим доступу:* http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245524186&cat_id=245293181

2. Статистика пожеж та їх наслідків в Україні за 2013–2016 роки: Статистичний збірник аналітичних матеріалів. За заг. ред. В.С. Кропивницького. К.: УкрНДІЦЗ, 2018. 100 с.
3. Варнакова Д.А. Тушение пожаров на трансформаторных подстанциях. Научный Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». М.: Академия ГПС МЧС России, вып. № 6 (70), 2016. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.academygps.ucoz.ru/ttb/2016-6/2016-6.html
4. Правила улаштування електроустановок. К.: Міненерговугілля України, 2017. 617 с.
5. Кашолкин Б.И., Мешалкин Е.А. Тушение пожаров в электроустановках. М.: Энергоатомиздат, 1985. 112 с.
6. Филянович Л.П., Злотникова Е.М., Яковчик Е.В. Пожарная опасность силовых трансформаторов. Новые материалы и технологии их обработки: сборник научных работ XVI Республиканской студенческой науч.-техн. конференции. Минск: БНТУ, 2015. С. 243-244.
7. Черкасов В.Н., Зыков В.И. Пожарная безопасность электроустановок: учеб.; под общ. ред. В.Н. Черкасова. 5-е изд. перераб. и доп. М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. 391 с.
8. Хисматуллин А.С., Камалов А.Р. Повышение эффективности системы охлаждения мощных силовых трансформаторов. Фундаментальные исследования. Пенза: № 6 (часть 2), 2015. С. 316–319.
9. Камалов А.Р., Хисматуллин А.Г., Хайруллина Д.Д., Хисматуллин А.С. Повышение эффективности охлаждения силовых масляных трансформаторов при помощи элегаза. Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. М.: № 1, 2017. С. 54–56.
10. Соколов В.В. Проблемы надежности мощных трансформаторов после длительной эксплуатации. Трансформаторостроение: Тезисы докладов XI международной науч.-техн. конф. Запорожье: ОАО ВИТ, 2005. С. 12–15.
11. V. Sokolov et. al. Reliability problems in large power transformers and shunt reactors, typical failure modes and failure causes, CIGRÉ A2 Colloquium, Moscow, Russia, 2005.
12. Зозуля Д.В. Разработка и научное обоснование технических предложений по повышению надёжности, энергетической эффективности и продлению ресурса трансорматоров ТНЦ-1250000/330 на блоках АЭС Украины. Збірник: Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. Чорнобиль, вип. 20, 2013. С. 57–67.
13. Heinz-Peter Berg, Nicole Fritze Reliability and vulnerability of transformers for electricity transmission and distribution. Journal of Polish Safety and Reliability Association Summer Safety and Reliability Seminars. Vol. 6, № 3, 2015. pp. 15–24.
14. Heinz-Peter Berg, Nicole Fritze Risk and Consequences of Transformer Explosions and Fires in Nuclear Power Plants. Journal of KONBiN. Warszawa: No. 3 (23), 2012. pp. 5-16. DOI: https://doi.org/10.2478/jok-2013-0034
15. Marc Foata, Jean-Bernard Dastous Power Transformers Tank Rupture Prevention, CIGRÉ Session. Paris, 2010.
16. Ніжник В.В., Поздєєв С.В., Жартовський С.В., Фещук Ю.Л. Оцінювання небезпеки поширення пожежі на суміжні будівельні об'єкти за критерієм теплового потоку. Міжнародний науковий журнал: Інтернаука. К.: № 11 (73), 2019. С. 47–51. DOI: https://doi.org/10.25313/2520-2057-2019-11-5113
17. Ніжник В.В., Балло Я.В., Поздєєв С.В., Некора В.С. Оцінка обмеження поширення пожежі між житловим будинком та автозаправною станцією. Науково-технічний збірник: Містобудування та територіальне планування. К.: КНУБА. № 69, 2019. С. 278–290.
18. Душкин А.Л., Ловчинский С.Е., Рязанцев Н.Н. Экспериментальные исследования метода подавления возгорания маслонаполненного трансформатора тонкораспыленной водой. Пожаровзрывоопасность. М.: № 1 (25), 2016. С. 54–60. DOI: https://doi.org/10.18322/PVB.2016.25.01.54-60
19. Некора В.С., Стилик І.Г., Ніжник В.В. Аналіз нормативних підходів щодо обмеження поширення пожежі під час аварій на маслонаповнених трансформаторних підстанціях. Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць XVI Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів. Львів: ЛДУ БЖД, 2021. С. 84–85.
20. Булгаков А.Б. Охрана окружающей среды в электроэнергетике: учебное пособие. Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2020. 89 с.
21. Рекомендации по проектированию систем отвода масла от трансформаторов на подстанциях от 03.12.1990 № 11099тм-т1.
22. Баратов А.Н., Корольченко А.Я., Кравчук Г.Н. и др. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справ. изд.: в 2 книгах; кн. 1. М.: Химия, 1990. 496 с.

References

1. Information and analytical materials of the Ministry of Energy of Ukraine on the state of fire and man-caused safety in the fuel and energy complex. Retrieved from http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245524186&cat_id=245293181
2. Statistics of fires and their consequences in Ukraine for 2013-2016: Statistical collection of analytical materials. Edited by Kropyvnytskyi, V.S. (2018). Kyiv: UkrNDICZ, 100.
3. Varnakova, D.A. (2016). Extinguishing fires at transformer substations. *Scientific Internet journal «Technologies of technospheric security»*. Moscow: Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, *6 (70)*. Retrieved from http://www.academygps.ucoz.ru/ttb/2016-6/2016-6.html
4. Rules for Arrangement of Electrical Installations (2017). Kyiv: Minenergovugillya of Ukraine, 617.
5. Kasholkin, B.I., & Meshalkin, E.A. (1985). Extinguishing fires in electrical installations. Moscow: Energoatomizdat, 112.
6. Filyanovich, L.P., Zlotnikova, E.M., & Yakovchik, E.V. (2015). Fire hazard of power transformers. *New materials and technologies of their processing: a collection of scientific works of the XVI Republican student scientific and technical conference*. Minsk: BNTU, 243–244.
7. Cherkasov, V.N., & Zykov, V.I. (2012). Fire safety of electrical installations: textbook; edited by Cherkasov, V.N. 5th ed. reworked. and ext. Moscow: Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 391.
8. Khismatullin, A.S., & Kamalov, A.R. (2015). Improving the efficiency of the cooling system of powerful power transformers. *Basic research*. Penza: *6 (2)*, 316–319.

9. Kamalov, A.R., Khismatullin, A.G., Khairullina, D.D., & Khismatullin, A.S. (2017). Improving the cooling efficiency of power oil transformers with SF6. *Transport and storage of petroleum products and hydrocarbons*. Moscow: *1*, 54–56.
10. Sokolov, V.V. (2005). Reliability problems of powerful transformers after long operation. *Transformer construction: Abstracts of reports of the XI international scientific and technical. conf.* Zaporozhye: OJSC VIT, 12–15.
11. Sokolov, V. et. al. (2005). Reliability problems in large power transformers and shunt reactors, typical failure modes and failure causes, *CIGRÉ A2 Colloquium*, Moscow.
12. Zozulya, D.V. (2013). Development and scientific substantiation of technical proposals for increasing the reliability, energy efficiency and extending the service life of TNTs-1250000/330 transformers at Ukrainian NPP units. *Collection: Problems of safety of nuclear power plants and Chernobyl*. Chornobyl, *20*, 57–67.
13. Berg, H.-P., Fritze, N. (2015). Reliability and vulnerability of transformers for electricity transmission and distribution. *Journal of Polish Safety and Reliability Association Summer Safety and Reliability Seminars*. *6 (3)*, 15–24.
14. Berg, H.-P., & Fritze, N. (2012). Risk and Consequences of Transformer Explosions and Fires in Nuclear Power Plants. *Journal of KONBiN*. Warszawa: *3(23)*, 5–16.
DOI: https://doi.org/10.2478/jok-2 013-0034
15. Foata, M., & Dastous, J.-B. (2010). Power Transformers Tank Rupture Prevention, *CIGRÉ Session*. Paris.
16. Nizhnyk, V.V., Pozdieiev, S.V., Zhartovsky, S.V., & Feshchuk, Yu.L. (2019). Assessment of the risk of fire spreading to adjacent construction sites according to the criterion of heat flow. *International scientific journal: Internauka*. Kyiv: *11 (73)*, 47-51. DOI: https://doi.org/10.25313/2520-2057-2019-11-5113
17. Nizhnik, V.V., Ballo, Ya.V., Pozdieiev, S.V., & Nekora, V.S. (2019). Assessment of the restriction of the spread of fire between a residential building and a gas station. *Scientific and technical collection: Urban planning and spatial planning*. Kyiv: KNUBA, *69*, 278–290.
18. Dushkin, A.L., Lovchinsky, S.E., & Ryazantsev, N.N. (2016). Experimental studies of the method of suppressing the ignition of an oil-filled transformer with water mist. *Fire and explosion hazard*. Moscow: *1 (25)*, 54–60.
DOI: https://doi.org/10.18322/PVB.2016.25.01.54-60
19. Nekora, V.S., Stylyk, I.G. & Nizhnyk, V.V. (2021). Analysis of normative approaches to limit the spread of fire during accidents at oil-filled transformer substations. *Problems and prospects for the development of life safety system: Coll. Science. works of the XVI International. scientific-practical conf. young scientists, cadets and students*. Lviv: LSU of LS, 84–85.
20. Bulgakov, A.B. (2020). Environmental protection in the electric power industry: a tutorial. Blagoveshchensk: AmSU Publishing House, 89.
21. Recommendations for the design of oil drainage systems from transformers at substations dated (1990, December 03) No. 11099tm-t1.
22. Baratov, A.N., Korolchenko, A.Ya., Kravchuk, H.N. et al. (1990). Fire and explosion hazard of substances and materials and means of their extinguishing: Ref. ed.: in 2 books; book 1. Moscow: Chemistry, 496.

Рецензент: д-р техн. наук, професор С.В. Поздєєв, Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, Україна.

Автор: КЛИМАСЬ Руслан Володимирович
начальник відділу досліджень, статистики пожеж та надзвичайних ситуацій науково-дослідного центру протипожежного захисту
Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту
E-mail – r.klymas@undicz.dsns.gov.ua
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8570-6392

Автор: НІЖНИК Вадим Васильович
доктор технічних наук, старший науковий співробітник, начальник науково-дослідного центру протипожежного захисту
Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту
E-mail – nignyk@ukr.net
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3370-9027

Автор: БАЛЛО Ярослав В'ячеславович
кандидат технічних наук, заступник начальника відділу нормативно-технічного забезпечення науково-дослідного центру протипожежного захисту
Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту
E-mail – 2801397@ukr.net
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9044-1293

Автор: ХРОМЕНКОВ Дмитро Геннадійович
науковий співробітник відділу технічного регулювання науково-дослідного центру протипожежного захисту
Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту
E-mail – khromen1990@gmail.com
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2662-6338

Автор: ГУЛИК Юрій Броніславович
науковий співробітник відділу технічного регулювання науково-дослідного центру протипожежного захисту
Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту
E-mail – ybg@ua.fm
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4633-1369

Автор: ІЛЬЧЕНКО Ніна Миколаївна
молодший науковий співробітник відділу технічного регулювання науково-дослідного центру протипожежного захисту
Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту
E-mail – ilchenko_n_n@ukr.net
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9911-3237

METHODS OF EXPERIMENTAL RESEARCH JUSTIFICATION OF MINIMUM GEOMETRIC PARAMETERS OF GRAVEL BACKFILL IN THE OIL RECEIVER OF THE TRANSFORMER SUBSTATION

R. Klymas, V. Nizhnyk, Ya. Ballo, D. Khromenkov, Yu. Gulyk, N. Ilchenko
Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Ukraine

Transformer is one of the most fire-hazardous types of equipment at power substations. In case of emergency operation or damage to the integrity of the case they can cause a fire. Statistics on fires show that 50 % of fires in the energy sector are transformer equipment; as a rule, such fires are accompanied by an emergency spill of oil from the transformer and its ignition.

Existing approaches to limiting the spread of fire during accidents at oil-filled transformer substations are insufficient and economically costly to minimize the consequences of burning transformer oil spills.

At the same time, a number of design parameters have been identified that negatively affect the effectiveness of fire control. In particular, the Rules for Arrangement of Electrical Installations provide for the provision of electrical substations with oil receivers which is covered with gravel, and the latter is constantly polluted due to environmental influences which impairs its capacity and cooling capacity.

The design and geometrical parameters of oil receivers with oil removal by oil drains defined in Rules for Arrangement of Electrical Installations can be a subject of scientific researches for their improvement.

The purpose of this article is to determine the main provisions of the methodology of experimental studies to substantiate the minimum geometric parameters of gravel backfill in the oil receiver of the transformer substation.

The ultimate goal of the study is to identify patterns of changes in the temperature of transformer oil from the parameters and characteristics of the oil pan, which should perform the function of a fire barrier and cooling the oil below the flash point.

The essence of the method of experimental research is to identify patterns of reduction of the combustion temperature of transformer oil to a temperature below the flash point depending on the geometric parameters of the gravel backfill during oil draining into the emergency tank (oil tank).

The developed technique allows to determine changes in the temperature of transformer oil from the geometric parameters of the oil pan, which should perform the function of a fire barrier and cooling the oil below the flash point.

Keywords: *transformer equipment, oil receiver, gravel backfill.*