

*Р.В. Климась, В.В. Ніжник, Ю.Л. Фещук, І.Г. Стилик, В.С. Некора, Л.П. Несенюк*  
*Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту*

## ЩОДО ОБМЕЖЕННЯ ПОШИРЕННЯ ПОЖЕЖ ПІД ЧАС АВАРІЙ НА ТРАНСФОРМАТОРНОМУ ОБЛАДНАННІ

**Проблема.** Трансформатор є одним із найбільш пожежонебезпечних видів обладнання на електропідстанціях. За аварійних режимів роботи або пошкодження цілісності корпусу вони можуть обумовити пожежу. Статистичні дані про пожежі свідчать, що 50 % від пожеж в енергетичній галузі припадають на трансформаторне обладнання; як правило, такі пожежі супроводжуються аварійним виливанням масла із трансформатора та його загорянням.

**Мета.** Аналіз сучасного стану системи обмеження поширення пожежі під час аварій на маслонаповнених трансформаторних підстанціях.

**Методи.** Роботу проведено за допомогою аналітичних методів досліджень шляхом збору, узагальнення, обробки й аналізу статистичних даних про пожежі та їх наслідки, що виникають під час експлуатації маслонаповнених трансформаторів, а також вимог нормативних документів щодо обмеження поширення пожежі під час аварій на маслонаповнених трансформаторних підстанціях.

**Результати.** Аналіз інформаційно-аналітичних матеріалів Міністерства енергетики України за останні п'ять років вказує, що щороку близько 47 % пожеж виникає на підприємствах електричних мереж. Аналіз іноземного досвіду щодо обмеження поширення пожежі під час аварій на маслонаповнених трансформаторних підстанціях показав, що зарубіжні підходи аналогічні вітчизняним. Разом із тим, визначено ряд конструктивних параметрів, що негативно впливають на ефективність обмеження поширення пожежі. Зокрема, *Правилами улаштування електроустановок* передбачено оснащення електропідстанцій маслоприймачами, що по всій площі засипається гравієм, який внаслідок впливу навколишнього середовища постійно забруднюється, чим погіршує свою пропускну й охолоджувальну здатність, тому його періодично збирають, промивають, сушать, засипають, що є трудомістким й економічно затратним процесом.

**Висновки.** Результати досліджень показали, 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. Подальші дослідження, спрямовані на розкриття закономірностей зміни температури трансформаторного масла від параметрів і характеристик маслоприймача, стануть підґрунтям для підвищення ефективності системи обмеження поширення пожежі на таких об'єктах.

**Ключові слова:** пожежа, трансформаторне обладнання, аналіз пожеж, маслоприймач, обмеження поширення пожежі.

*R. Klymas, V. Nizhnyk, Yu. Feshchuk, I. Stylyk, V. Nekora, L. Nesenuk*  
*Institute of Public Administration and Research in Civil Protection*

## RESTRICTING THE SPREAD OF FIRE DURING ACCIDENTS ON TRANSFORMER EQUIPMENT

**Introduction.** The 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.

**Purpose.** Analysis of the current state of the fire control system during accidents at oil-filled transformer substations.

**Methods.** The work was carried out using appropriate analytical research methods by collecting, summarizing, processing and analysing statistics on fires and their consequences arising during the operation of oil-filled transformers, as well as regulatory requirements to limit the spread of fire during accidents at oil-filled transformer substations.

**Results.** The analysis of information and analytical materials of the Ministry of Energy of Ukraine for the last five years indicates that every year about 47 % of fires occur in the enterprises of electric networks. Analysis of foreign experience in limiting the spread of fire during accidents at oil-filled transformer substations showed that foreign approaches are similar to domestic ones. At the same time, several 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 that are covered with gravel, and the latter is constantly polluted due to environmental influences which impair its capacity and cooling capacity. This provides for the necessity of its periodic collection, rinsing, drying, and re-filling which are labour and cost-intensive.

**Conclusions.** Studies have shown that today's approaches to limiting the spread of fire during accidents at oil-filled transformer substations are insufficient and economically costly to minimize the effects of the combustion of transformer oil spills. Further research aimed at revealing the patterns of changes in the temperature of transformer oil from the parameters and characteristics of the oil pan will be the basis for improving the efficiency of the fire spread control system at such facilities.

**Keywords:** fire, transformer equipment, fire analysis, oil receiver, the fire spread control.

**Постановка проблеми.** Одним із найбільш пожежонебезпечних видів обладнання на будь-якій електропідстанції є трансформатор. Трансформатори, що використовуються на електропідстанціях, можуть містити від 200 л до 60 000 л мінерального масла, що служить для ізоляції й охолодження, запобігання іскрінню та іншим небажаним явищам. Оскільки трансформаторне масло є горючою рідиною [1], то у разі виникнення несправностей на трансформаторних підстанціях воно, як пожежне навантаження, може обумовити пожежу, а також сприяти її розвитку і поширенню на суміжні будівлі та споруди на території станції.

Статистичні дані про пожежі свідчать, що 50 % від пожеж в енергетичній галузі припадають на трансформаторне обладнання [2]. Основною причиною пожеж на трансформаторних підстанціях є коротке замикання або

розгерметизація корпусу обладнання внаслідок корозії. Зокрема, виникнення електричної дуги під час короткого замикання призводить до неприпустимого збільшення тиску в масляному баку. В результаті цього відбувається закипання трансформаторного масла, підвищення тиску та температури, руйнування корпусу трансформатора, розлив горючого масла та його займання.

Для прикладу, наведемо пожежу, що виникла 17 квітня 2017 року по вул. Промисловій у м. Северодонецьку Луганської області, де на одній із трансформаторних підстанцій виникло загоряння трансформатора, з якого стався розлив масла на площу 20 м<sup>2</sup> (рисунок 1).

Причиною пожежі стало коротке замикання, а її ліквідація потребувала задіяння додаткових сил і засобів (загалом було залучено 28 вогнеборців і 8 одиниць техніки).



**Рисунок 1** – Приклад пожежі на трансформаторній підстанції м. Северодонецьк Луганської області

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За результатами проведеного аналізу щодо обмеження поширення пожеж під час аварій на маслонаповнених трансформаторних підстанціях [3, 4] можна стверджувати, 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.

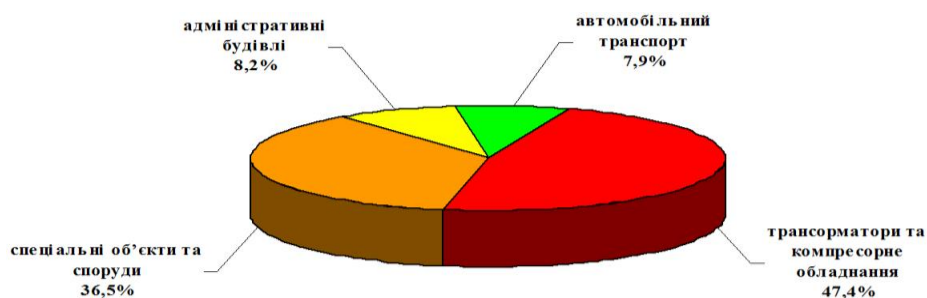
Питанням обмеження поширення пожеж на суміжні споруди та припинення горіння на трансформаторних підстанціях присвячені роботи Варнакової Д.А., Зозулі Д.В., Ніжника В.В., Поздєєва С.В., Хісматулліна А.С., Heinz-Peter Berg, Nicole Fritze та інших. Зокрема, в роботі Варнакової Д.А. [5] відзначається, що руйнування масляних емкостей або вилив масла є найгіршим варіантом аварійної ситуації за розтікання масла по

території підстанції. Досліджуючи аварійність трансформаторів атомних електростанцій Зозуля Д.В. [6] запропонував діагностичні методи контролю терміну служби трансформаторного обладнання. Припиненню горіння й обмеженню поширення пожеж на суміжні об'єкти присвячені праці Ніжника В.В. і Поздєєва С.В. [7, 8], але в них не розглядалося питання розповсюдження пожежі між суміжними спорудами під час аварій на маслонаповнених трансформаторних підстанціях. Над підвищенням ефективності систем охолодження потужних силових масляних трансформаторів працює Хісматуллін А.С. [9]. Н.-Р. Berg і N. Fritze, проводячи дослідження надійності силових трансформаторів [10], відзначають, що останніми роками ймовірність відмов трансформаторів зростає через їх старіння чи небезпеки ззовні. Однак, у цих працях недостатньо досліджені процеси тепломасопередачі для забезпечення ефективного відведення тепла трансформаторного масла, що проходить через вогнезагороджувач під час пожежі на трансформаторних підстанціях, і не виявлені

закономірності зниження температури масла до нижчої за його температуру спалаху залежно від геометричних параметрів гравійної засипки маслоприймача.

**Метою статті** є проведення аналізу сучасного стану системи обмеження поширення пожежі під час аварій на маслонаповнених трансформаторних підстанціях шляхом аналізу пожеж на трансформаторному обладнанні та причин їх виникнення, а також нормативних документів щодо обмеження поширення пожеж під час аварій на таких об'єктах.

**Виклад основного матеріалу.** Аналіз інформаційно-аналітичних матеріалів Міністерства енергетики України за останні п'ять років про стан пожежної та техногенної безпеки в паливно-енергетичному комплексі [11] вказує, що в середньому щороку близько 47 % пожеж виникає на підприємствах електричних мереж. Узагальнений розподіл кількості пожеж, що виникали на об'єктах паливно-енергетичного комплексу України за останні п'ять років, наведено на рисунку 2.



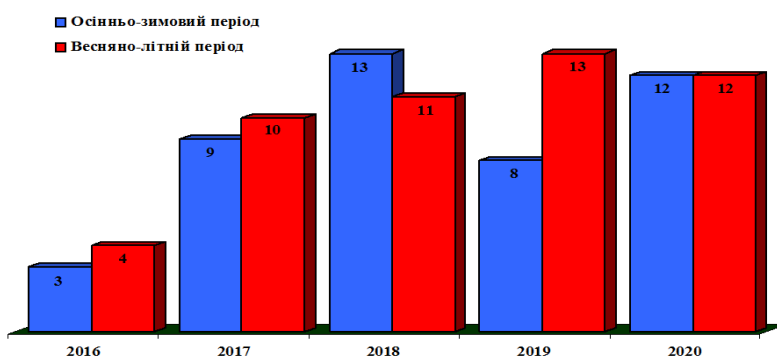
**Рисунок 2** – Розподіл кількості пожеж у паливно-енергетичному комплексі України за видами об'єктів

Зокрема, аналіз матеріалів розслідування таких пожеж 2017 року свідчить, що 47,0 % пожеж виникло на трансформаторному та компресорному обладнанні, 35,3 % – на спеціальних об'єктах і спорудах, 11,8 % – в адміністративних будівлях, 5,9 % – на автомобільному транспорті.

Узагальнені дані за аналізований період свідчать, що об'єктами у понад 47 % випадках

пожеж безпосередньо були трансформатори та компресорне обладнання.

Порівняльний аналіз кількості пожеж у паливно-енергетичному комплексі України за останні п'ять років, що реєструвалися в осінньо-зимові та весняно-літні періоди, наведено на рисунку 3.



**Рисунок 3** – Розподіл кількості пожеж у паливно-енергетичному комплексі України в осінньо-зимові та весняно-літні періоди

Проведений аналіз не виявив характерних тенденцій і залежностей у виникненні пожеж в осінньо-зимові та весняно-літні періоди, що вказує на відсутність впливу пори року на суттєву зміну кількості пожеж, що притаманне, наприклад, для лісових пожеж, пожеж в екосистемах та у побуті.

Окрім цього, проведено аналіз статистичних даних за довгостроковий період [2, 12] та встановлено загальний розподіл кількості пожеж в Україні за електричними машинами та перетворювачами (таблиця 1), на яких (або від яких) вони виникали.

**Таблиця 1**

Розподіл кількості пожеж в Україні за електричними машинами та перетворювачами, на яких (або від яких) вони виникли

Електричні машини та перетворювачі	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Трансформатор	42	30	42	47	58	43	37	49
Стабілізатор	12	11	6	9	10	12	12	10
Електродвигун	4	6	6	18	21	29	18	14
Генератор	9	11	11	12	16	23	16	43
Інші електричні машини та перетворювачі	25	13	15	13	13	24	12	22

З таблиці 1 видно, що в середньому щороку реєструється 44 випадки пожеж трансформаторів. Загалом із 824 пожеж, що виникали або були спричинені електричними машинами чи перетворювачами, 348 або 42,2 % припадає саме на трансформатори.

Проаналізувавши статистичні дані за довгостроковий період [2, 12] за об'єктами

виникнення пожеж на спорудах і зовнішніх установках (таблиця 2) за основними показниками, отримаємо, що середньорічна кількість таких пожеж становить 120. Загалом за аналізований період на трансформаторних підстанціях і трансформаторах виникло 963 пожежі, прямі збитки від яких склали 32 млн 472 тис. грн, на пожежах загинуло 3 людини та 3 травмовано.

**Таблиця 2**

Основні показники статистики пожеж в Україні, що виникали на трансформаторних підстанціях (трансформаторах)

Об'єкт пожежі	Кількість пожеж, од. Прямий збиток, тис. грн Загинуло внаслідок пожеж, люд. Травмовано на пожежах, люд.							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Трансформаторна підстанція, трансформатор	120	113	113	98	95	112	149	163
	321,6	1308,1	6692,4	1029,2	1662,8	1775,2	5492,5	2412,1
	1	0	1	0	1	0	0	0
	0	0	1	0	1	0	0	1

На основі аналізу статистичних даних про пожежі в Україні встановлено, що щороку в середньому близько 50 % пожеж в енергетичній галузі виникає на силових трансформаторах, зокрема на маслonaповнених трансформаторах; як правило, такі пожежі супроводжуються аварійним виливанням масла із трансформатора та його загорянням, що спричиняє значні матеріальні збитки, а у деяких випадках і загибель людей.

Аналіз вітчизняної нормативної бази показав, що в Україні нормативним документом, який встановлює вимоги до електроустановок загального призначення змінного струму напругою до 750 кВ

та постійного струму напругою до 1,5 кВ, зокрема вимоги щодо обмеження розтікання масла та поширення пожежі під час пошкодження маслonaповнених силових трансформаторів, – є «Правила улаштування електроустановок» [13].

Відповідно до вимог [13], для обмеження розтікання масла та поширення пожежі під час пошкодження маслonaповнених силових трансформаторів застосовують маслоприймачі з відведенням масла масловідводами в маслосбірник. Приклад зовнішнього виду площадки маслоприймача типової трансформаторної підстанції наведено на рисунку 4.

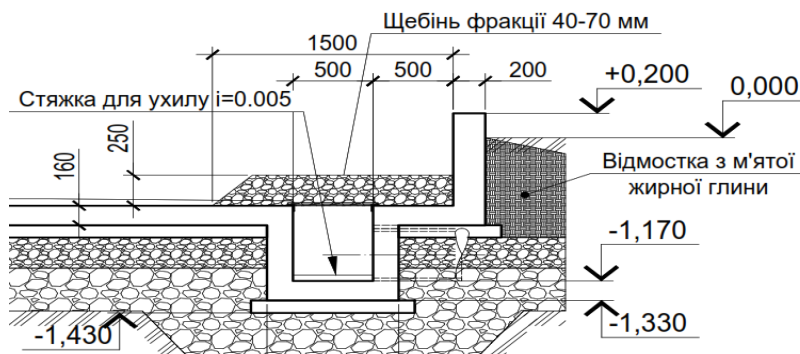




**Рисунок 4** – Зовнішній вид площадки маслоприймача трансформаторної підстанції

Дана конструкція маслоприймача має ухил 0,005 м/м у бік маслозбірника та засипана чистим щебенем фракцією від 30 мм до 70 мм. Висота засипки має становити не менше ніж 250 мм.

Приклад конструктивної схеми вогнезагороджувача, в якості якого використовується маслозбірник із металевою решіткою, поверх якої насипано шар щебеню, наведено на рисунку 5.

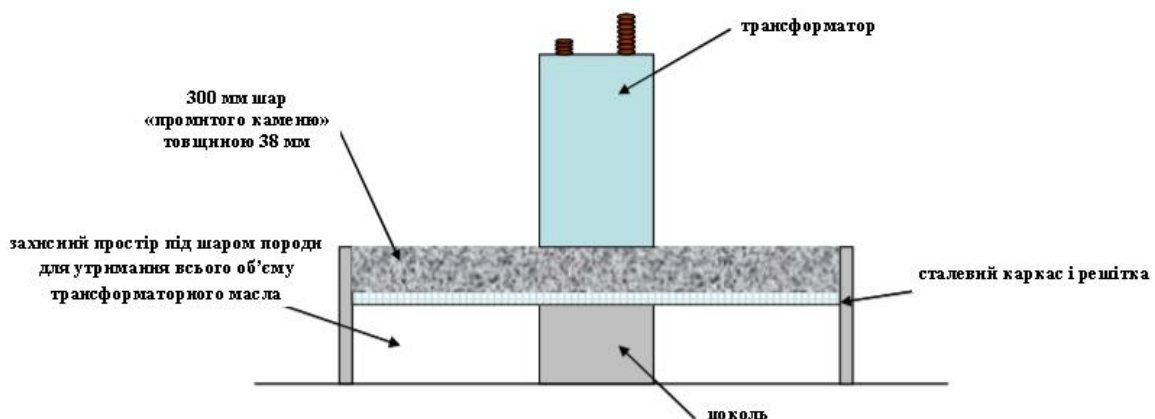


**Рисунок 5** – Приклад конструктивної схеми вогнезагороджувача

Проведений аналіз іноземного досвіду щодо обмеження поширення пожежі під час аварій на маслонаповнених трансформаторних підстанціях [14-17] показав, що зарубіжні підходи аналогічні вітчизняним. Зокрема, у [17] наведено загальні вимоги до утримання масла в маслоприймачі, а одним із методів обмеження пожежі є заповнення маслоприймача щебенем фракцією від 30 мм до

50 мм, причому щебінь має бути чистим і середніх розмірів, щоб масло могло швидко протікати через нього. Об'єм приймача та засипки має бути достатнім, щоб утримувати загальний обсяг масла з трансформатора на 100 мм нижче поверхні щебеню, для того щоб пожежа не поширювалася.

На рисунку 6 показано типове розташування щебеню у масло приймачі, згідно з [17].



**Рисунок 6** – Типове розташування щебеню у масло приймачі, згідно з [17]

Разом із тим, аналіз пожеж та їх наслідків, що виникають під час експлуатації маслонаповнених трансформаторів показав, що ряд їх конструктивних параметрів негативно впливають на ефективність обмеження поширення пожежі під час пошкодження маслонаповнених трансформаторів. Руйнування керамічного ізолятора або розгерметизація масляного бака і подальший вихід обладнання з ладу, як правило, є наслідком довготривалої експлуатації – процесом, який важко передбачити та можливо виявити лише за постійного моніторингу технічного стану корпусу маслонаповнених трансформаторів [18].

Під час облаштування маслоприймачів для відведення трансформаторного масла діє вимога щодо влаштування ухилу не менше ніж 0,005 м/м у бік маслоприймача, який має бути засипаний чистим гравієм чи промитим гранітним щебенем. Разом з тим, слід розуміти, що ухил в 0,005 м/м, що відповідає значенню 5 мм висоти на 1 м довжини, може, навіть, не відповідати значенню шорсткості поверхні бетонної площадки [18]. Для прикладу, шорсткість поверхні рівного асфальтобетонного покриття автомобільних доріг та площадок для паркування автомобілів, згідно з ДСТУ Б В.2.7-119 [19], становить 0,02-0,07 м/м. Окрім цього, ухил 0,005 м/м у бік маслоприймача не може задовольнити вимог ДБН В.2.5-74 [20] щодо забезпечення відводу дощових вод і води, що утворюватиметься під час танення снігу. Також недослідженим питанням є необхідність засипання гравієм чи щебенем всієї площі маслоприймача, який внаслідок впливу навколишнього середовища постійно забруднюється, чим погіршує свою пропускну й охолоджувальну здатність, що зумовлює його періодичне збирання, промивання, сушку, засипку (а на цей період відбувається відключення трансформаторної підстанції). Такі роботи є трудомісткими й економічно затратними.

У випадку розгерметизації масляного бака, в середині якого є масло з робочою температурою від 150 °С до 270 °С, відбувається контакт масла з повітрям внаслідок чого воно може самозайнятися.

Таким чином, відсутність заходів щодо ефективного відведення трансформаторного масла з площадки маслоприймачів для маслонаповнених електротрансформаторів у випадку їх розгерметизації може спричинити збільшення площі пожежі та, як наслідок, підвищити значення теплового впливу на суміжні об'єкти, що в свою чергу тягне за собою необхідність у нарощуванні кількості сил і засобів на ліквідацію пожежі.

Тож, визначені у вітчизняній нормативній базі конструктивні та геометричні параметри вогнезагороджувачів маслонаповнених трансформаторних підстанцій можуть бути предметом для їх удосконалення, зокрема щодо

геометричних параметрів маслоприймача, конструктивної схеми вогнезагороджувача, ухилу маслоприймача, обмеження теплового впливу між трансформаторами, суміжними об'єктами та територіями.

Тому дослідження, спрямовані на розкриття закономірностей зміни температури трансформаторного масла від параметрів і характеристик маслоприймача, що стане підґрунтям для підвищення ефективності системи обмеження поширення пожежі на трансформаторних підстанціях, – є актуальною науковою задачею.

Об'єктом подальших досліджень є процеси тепломасообміну між трансформаторним маслом, що горить, та гравійною засипкою маслоприймача під час його зливання в аварійну ємкість (маслозбірник).

Предметом досліджень є закономірності охолодження та припинення горіння трансформаторного масла у гравійній засипці маслоприймача трансформаторної підстанції під час пожежі.

Метою подальших досліджень є виявлення закономірностей охолодження та припинення горіння трансформаторного масла від параметрів гравійної засипки маслоприймача, як основи вдосконалення наявних конструктивних рішень під час проєктування маслоприймачів трансформаторних підстанцій, що мають виконувати функцію припинення горіння та охолодження масла нижче температури спалаху у 150 °С.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1) проаналізувати сучасний стан системи обмеження поширення пожежі під час аварій на маслонаповнених трансформаторних підстанціях;

2) визначити критерії, що впливають на зміну температури в маслоприймачі та розробити математичну модель дослідження процесів теплообміну трансформаторного масла в маслоприймачі;

3) дослідити закономірності зміни температури трансформаторного масла від параметрів гравійної засипки маслоприймача;

4) розробити програму та методику експериментальних досліджень процесу теплообміну трансформаторного масла у маслоприймачі;

5) порівнюючи результати експериментальних досліджень із результатами математичного моделювання, довести адекватність та оцінити точність розробленої моделі;

6) розробити пропозиції для вдосконалення наявних інженерних рішень із обмеження

поширення пожежі у разі виникнення аварій на маслонаповнених трансформаторних підстанціях.

**Висновки.** 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 можна стверджувати, 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.

Виходячи із викладеного, можливо сформулювати гіпотезу про те, що вдосконалення наявних інженерних рішень із облаштування маслоприймача, що має виконувати функцію вогнезагороджувача та охолодження масла нижче температури спалаху у 150 °С, створить передумови для підвищення ефективності системи обмеження поширення пожежі у разі виникнення аварій на маслонаповнених трансформаторних підстанціях.

#### Список літератури:

1. 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.
2. Статистика пожеж та їх наслідків в Україні за 2013-2016 роки: Статистичний збірник аналітичних матеріалів. За заг. ред. В.С. Кропивницького. К.: УкрНДЦЗ, 2018. 100 с.
3. 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.
4. Климась Р.В., Ніжник В.В. Дослідження існуючих підходів до обмеження поширення пожеж на трансформаторних підстанціях. Надзвичайні ситуації: безпека та захист: Матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю. Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2021. С. 31-33.
5. 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>.
6. Зозуля Д.В. Разработка и научное обоснование технических предложений по повышению надёжности, энергетической эффективности и продлению ресурса трансформаторов ТНЦ-1250000/330 на блоках АЭС Украины. Збірник: Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. Чорнобиль, вип. 20, 2013. С. 57-67.
7. 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>.
8. 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.
9. Хисматуллин А.С., Камалов А.Р. Повышение эффективности системы охлаждения мощных силовых трансформаторов. Фундаментальные исследования. Пенза: № 6 (часть 2), 2015. С. 316-319.
10. 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.
11. Інформаційно-аналітичні матеріали Міністерства енергетики України щодо стану пожежної та техногенної безпеки в паливно-енергетичному комплексі. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://www.mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publis h/officialcategory?cat\\_id=245293181](http://www.mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publis h/officialcategory?cat_id=245293181) (245293185).
12. Климась Р.В., Одинець А.В. Аналіз стану з пожежами та їх наслідків в Україні у 2020 році. Пожежна та техногенна безпека. К.: № 3 (90), 2021. С. 3-5.
13. Правила улаштування електроустановок. К.: Міненерговугілля України, 2017. 617 с.
14. Правила устройства электроустановок. Астана: Министерство энергетики и минеральных ресурсов республики Казахстан, 2015. 391 с.
15. Правила устройства электроустановок. М.: Министерство энергетики Российской Федерации, 2003. 499 с.
16. ТКП 339-2011 (02230) Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила устройства и

защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемо-сдаточных испытаний. Минск: Министерство энергетики Республики Беларусь. 2011. 600 с.

17. Construction of 33/11kv substations. Technical specifications (Республіка Ірак).

18. Климаць Р.В., Баллю Я.В. До питань підвищення ефективності запобігання поширення пожежі під час пошкодження маслонаповнених трансформаторів. International scientific and practical conference «Technical sciences: the analysis of trends and development prospects»: conference proceedings. Prague: «Baltija Publishing», 2021. С. 47-50.

19. ДСТУ Б В.2.7-119:2011 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Чинний від 2012-10-01. К.: Мінрегіон України, 2012. 59 с.

20. Державні будівельні норми ДБН В.2.5-74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення до проектування. Чинні від 2014-01-01. К.: Мінрегіон України, 2013. 180 с.

#### References:

1. Baratov A, Korolchenko A., Kravchuk H. et al. (1990), Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ih tusheniia [Fire and explosion hazard of substances and materials and means of their extinguishing]: Ref. ed.: in 2 books; book 1. Moscow: Chemistry, 496 p. (in Rus).

2. Statistics of fires and their consequences in Ukraine for 2013-2016: Statistical collection of analytical materials. Edited by V. Kropyvnytskyi (2018). Kyiv: UkrNDICZ, 100 p. (in Ukr).

3. 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, pp. 84-85 (in Ukr).

4. Klymas, R.V., & Nizhnyk, V.V. (2021), "Research of existing approaches to limiting the spread of fires at transformer substations". Emergencies: Security and Protection: Proceedings of the XI All-Ukrainian Scientific and Practical Conference with International Participation. Cherkasy: ChI of FS n.a. Chernobyl Heroes of NUCDU, pp. 31-33 (in Ukr).

5. 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> (in Rus).

6. 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. Chernobyl, Vol. 20, pp. 57-67 (in Rus).

7. 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), pp. 47-51 (in Ukr). DOI: 10.25313 / 2520-2057-2019-11-5113.

8. 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, pp. 278-290 (in Ukr).

9. Khismatullin, A.S., & Kamalov, A.R. (2015), "Improving the efficiency of the cooling system of powerful power transformers". Basic research. Penza: № 6 (2), pp. 316-319 (in Rus).

10. 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. Vol. 6 (3), pp. 15-24 (in Eng).

11. 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. [Electronic resource]. Access mode: [http://www.mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/officialcategory?cat\\_id=245293181](http://www.mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/officialcategory?cat_id=245293181) (245293185) (in Ukr).

12. Klymas R., Odynets A. (2021), "Analysis of the state of fires and their consequences in Ukraine in 2020". Pozhezhna ta tekhnogenna bezpeka (Fire and technogenic safety). Kyiv: № 3 (90), pp. 3-5 (in Ukr).

13. Rules for Arrangement of Electrical Installations. (2017). Kyiv: Minenergovugillya of Ukraine, 617 p. (in Ukr).

14. Rules for Arrangement of Electrical Installations. (2015). Astana: Ministry of Energy and Mineral Resources of the Republic of Kazakhstan, 391 p. (in Rus).

15. Rules for Arrangement of Electrical Installations. (2003). Moscow: Ministry of Energy of Russian Federation, 499 p. (in Rus).

16. ТКР 339-2011 (02230) Electrical installations for voltages up to 750 kV. Overhead power lines and conductors, distribution devices and transformer substations, power and battery installations, electrical installations of residential and public buildings. Rules for arrangement and protective measures for electrical safety. Electricity metering.



Acceptance test standards. (2011). Minsk: Ministry of Energy of Republic of Belarus. 60 p. (in Rus).

17. Construction of 33/11kv substations. Technical specifications (Republic of Iraq) (in Eng).

18. Klymas R., Ballo Ya. (2021), "To increase the effectiveness of fire prevention during damage to oil-filled transformers". International scientific and practical conference «Technical sciences: the analysis of trends and development prospects»: conference proceedings.

Prague: «Baltija Publishing», pp. 47-50 (in Ukr).

19. DSTU B V.2.7-119:2011 Asphalt mixes and asphalt concrete road and airfield. Valid from 2012-10-01. (2012). Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 59 p. (in Ukr).

20. DBN V.2.5-74:2013 Water supply. External networks and structures. Basic provisions for design. Valid from 2014-01-01 (2013). Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 180 p. (in Ukr).

**\* Оглядова стаття.**

Надійшла до редакції 25.08.2021 р.