



*А. С. Лин, І. П. Кравець, Н. О. Ференц, М. З. Пелешко*

*Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4012-4556> – А.С.Лин

<https://orcid.org/0000-0002-3146-7952> – І.П. Кравець

<https://orcid.org/0000-0003-3139-0921> – Н. О. Ференц

<https://orcid.org/0000-0002-9315-1590> – М. З. Пелешко

✉ [ipkravets57@gmail.com](mailto:ipkravets57@gmail.com)

## ЧИННИКИ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ КАБЕЛЬНОЇ ПРОДУКЦІЇ

**Постановка проблеми.** В сучасному суспільстві без електроенергії не може обійтися жоден громадянин. Електроприлади значно поліпшують і полегшують наше життя, але попри всі позитивні сторони електроенергії є один аспект, який негативно впливає на життєдіяльність людей – це її небезпека. Аналіз стану електротехнічних пристроїв показав, що найбільш пожежонебезпечними з них вважаються електричні кабелі, проводи та шнури, які, маючи значне горюче навантаження, підтримують горіння та сприяють поширенню вогню на значну відстань. Найбільшою причиною загорання кабельної продукції є короткі замикання та перевантаження електромережі. Перевантаження мережі прискорює процес старіння ізоляції. Інтенсивність нагрівання залежить від величини та часу дії електричного струму на провідник і площі його поперечного перерізу. Підвищення температури значно скорочує термін експлуатації провідників. Старіння ізоляції супроводжується зміною її захисних та механічних якостей. Вона стає крихкою, здатною ламатися та тріскатися, що може призвести до її пробію та короткого замикання. У зв'язку з цим, головним завданням є проведення профілактичних заходів, що забезпечують нормальну експлуатацію мережі, починаючи вже з її проектування, монтажу і експлуатації.

**Мета та задачі досліджень.** Мета роботи полягає у визначенні ефективності протипожежного захисту кабельної продукції на основі аналізу чинників пожежної небезпеки під час експлуатації побутових електричних мереж. Для досягнення зазначеної мети необхідно було оцінити вплив аварійних режимів роботи на пожежну безпеку кабельної продукції для підвищення її вогнестійкості та безпеки використання в електричних мережах.

**Методи дослідження.** Для досягнення мети та реалізації поставлених задач застосовано аналітичний метод. Проаналізовано методи оцінювання чинників пожежної небезпеки під час експлуатації побутових електричних мереж.

**Результати дослідження.** У статті висвітлені проблеми пожежної небезпеки електромереж та профілактичної заходи щодо їх безпечної експлуатації. Аналіз ситуації з пожежами показав, що найбільш пожежонебезпечними виявились електричні вироби, які широко використовуються населенням і є практично у кожному домі. Вкрай пожежонебезпечними частинами цих електротехнічних виробів вважаються електричні кабелі, проводи та шнури. Високий рівень пожежної небезпеки електричних кабелів обумовлений тим, що вони, маючи значне горюче навантаження та протяжність, можуть не лише підтримувати горіння, але й сприяти поширенню вогню на значну відстань від місця виникнення пожежі, а продукти їх горіння через високу токсичність та корозійну активність вкрай небезпечні для здоров'я людей та матеріальних цінностей.

Правильний вибір площі поперечного перерізу провідника, марки, виду і способу прокладання електропроводки дають можливість забезпечити пожежну безпеку при експлуатації електромереж.

Для моделювання виникнення кабельних пожеж у підземних тунелях, сховищах та підвальних приміщеннях, які становлять велику пожежну загрозу для людей, створене програмне забезпечення FDS, яке аналізує зміну температурного поля коридору та температуру стелі в підземних об'єктах при зміні потужності пожежі кабельних проходок.

Результати досліджень вогнезахисних властивостей ПВХ оболонки старих і нових кабелів за допомогою експериментів TG, FTIR та MCC показали, що оболонка старого кабелю горить сильніше, ніж оболонка нового. При цьому газоподібні продукти піролізу кабелю токсичні і становлять небезпеку для персоналу та навколишнього середовища.

Розглянуто основні пожежні характеристики (час до займання, пік швидкості тепловиділення та час до піку швидкості тепловиділення), які кількісно оцінюють вплив різних умов на властивості кабелю. Проаналізовано дослідження впливу оболонки кабелю на затримку настання основного піку швидкості виділення тепла, що відповідає розкладу негорючої ізоляції.

**Висновки.** Проаналізовані результати досліджень вогнезахисних властивостей оболонок кабелів показали, що оболонка старого кабелю піролізується і горить сильніше і повніше, ніж оболонка нового. Газоподібні продукти піролізу кабелів мають певну токсичність та корозійність, а тому мають певні ризики для безпеки персоналу та

навколишнього середовища. Розглянуто основні пожежні характеристики (час до займання, пік швидкості тепловиділення та час до піку швидкості тепловиділення), які кількісно оцінюють вплив різних умов на властивості кабелю. Проаналізовано дослідження впливу оболонки кабелю на затримку настання основного піку швидкості виділення тепла, що відповідає розкладу негорючої ізоляції. На основі аналізу результатів досліджень встановлено, що для запобігання швидкому розповсюдженню вогню від джерела загоряння найкраще використовувати розроблені нові типи нанометрового вогнезахисного покриття та проміжної захисної коробки кабелю.

**Ключові слова:** електрообладнання, електромережі, коротке замикання, перевантаження, аварійні режими роботи, старіння ізоляції.

*A. S. Lyn, I. P. Kravets, N. O. Ferents, M. Z. Peleshko*

*Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine*

## FACTORS OF THE FIRE HAZARD OF CABLE PRODUCTS

**Formulation of the problem.** In modern society, no citizen can do without electricity. Electrical devices greatly improve and facilitate our capabilities, but despite all the positive aspects of electricity, there is one aspect that negatively affects people's daily life - it is its danger. The analysis of the state of electrical devices showed that the most fire-hazardous of them are electric cables, wires and cords, which, having a significant combustible load, support combustion and contribute to the spread of fire over a considerable distance. The biggest cause of cable products catching fire is short circuits and overloading of the power grid. Overloading the network accelerates the ageing process of the insulation. The intensity of heating depends on the amount and time of the electric current on the conductor and its cross-sectional area. An increase in temperature significantly shortens the service life of conductors. The ageing of insulation is accompanied by a change in its protective and mechanical qualities. It becomes fragile, able to break and crack, which can lead to its breakdown or short circuit. In this regard, the main task is to carry out preventive measures that ensure the normal operation of the network, starting already during its design, installation and operation.

**The purpose and objectives of the research.** The purpose of the work is to determine the effectiveness of fire protection of cable products based on the analysis of fire hazard factors during the operation of household electrical networks. To achieve the specified goal, it was necessary to assess the impact of emergency modes of operation on the fire safety of cable products to increase their fire resistance and safety of use in electrical networks.

**Research methods.** To achieve the goal and implement the set tasks, the analytical method was applied. The methods of assessing fire hazard factors during the operation of household electrical networks are analysed.

**Research results.** The article highlights the problems of fire hazards in electrical networks and preventive measures for their safe operation. The analysis of the fire situation showed that electrical products, which are widely used by the population and are in almost every home, turned out to be the most fire-hazardous. Electrical cables, wires and cords are considered extremely fire-hazardous parts of these electrical products. The high level of fire danger of electric cables is because they, having a significant combustible load and length, can not only support burning, but also contribute to the spread of fire to a considerable distance from the place of fire, and the products of their combustion are extremely dangerous due to their high toxicity and corrosive activity for the health of people and material values.

The correct choice of the cross-sectional area of the conductor, brand, type and method of laying electrical wiring makes it possible to ensure fire safety during the operation of electrical networks.

To simulate the occurrence of cable fires in underground tunnels, warehouses and basements, which pose a great fire threat to people, the FDS software was created, which analyses the change in the temperature field of the corridor and the temperature of the ceiling in underground objects when the firepower of cable passages changes.

The results of studies of the flame retardant properties of the PVC sheath of old and new cables using TG, FTIR and MCC experiments showed that the sheath of the old cable burns more strongly than the sheath of the new one. At the same time, gaseous products of cable pyrolysis are toxic and pose a danger to personnel and the environment.

The main fire characteristics (time to ignition, peak heat release rate, and time to peak heat release rate) are considered, which quantify the effect of various conditions on the properties of the cable. The study of the influence of the cable sheath on the delay in the onset of the main peak of the rate of heat release, which corresponds to the schedule of non-combustible insulation, was analysed.

**Conclusions.** The analysed results of studies of the flame-retardant properties of cable sheaths showed that the sheath of the old cable pyrolyses and burns more strongly and more fully than the sheath of the new one. The gaseous products of pyrolysis of cables have certain toxicity and corrosiveness and therefore have certain risks for the safety of personnel and the environment. The main fire characteristics (time to ignition, peak heat release rate, and time to peak heat release rate) are considered, which quantify the effect of various conditions on the properties of the cable. The study of the influence of the cable sheath on the delay in the onset of the main peak of the rate of heat release, which corresponds to the schedule of non-combustible insulation, was analysed. Based on the analysis of the research results, it was found that to prevent the rapid spread of fire from the ignition source, it is best to use the developed new types of nanometre flame retardant coating and the intermediate protective box of the cable.

**Keywords:** electrical equipment, electrical networks, short circuits, overloads, emergency modes of operation, ageing insulation.

**Постановка проблеми.** В сучасному суспільстві без електроенергії не може обійтися жоден громадянин. Всі наші звичайні буденні справи та заняття спеціального призначення пов'язані із застосування електрики. Електроприлади значно поліпшують і полегшують наші можливості, але попри всі позитивні сторони електроенергії є один аспект, який негативно впливає на життєдіяльність людей – це його небезпека. Однією з головних причин виникнення пожеж є пошкодження правил пожежної безпеки при влаштуванні та експлуатації електричного обладнання [1]. Результати аналізу причин виникнення пожеж свідчать про те, що протягом останніх десятиліть кількість пожеж від електротехнічних виробів не зменшується, а навпаки збільшується і становить 20 - 25% від усіх пожеж. Пожежі, спричинені електротехнічними виробами, від загальної кількості пожеж в Україні мають значну питому вагу і займають друге місце після пожеж, які були спричинені необережним поводженням з вогнем.

Аналіз ситуації з пожежами показав, що найбільш пожежонебезпечними виявились електричні вироби, які широко використовуються населенням і є практично у кожному домі. Особливо пожежонебезпечними частинами цих електротехнічних виробів вважаються електричні кабелі, проводи та шнури [2]. Високий рівень пожежної небезпеки електричних кабелів обумовлений тим, що вони, маючи значне горюче навантаження та протяжність, можуть не лише підтримувати горіння, але й сприяти поширенню вогню на значну відстань від місця виникнення пожежі, а продукти їх горіння через високу токсичність та корозійну активність вкрай небезпечні для здоров'я людей та матеріальних цінностей [3]. Тому вкрай важливо забезпечити захист від небезпечних проявів пожеж в електропроводках та кабельних лініях: механічних пошкоджень, пошкоджень електричного і електронного устаткування [4].

В електротермічних установках існує додаткова пожежна небезпека, зумовлена наявністю в них джерел теплової енергії (тепловий потік, бризки розплавленого металу, розжарені нагрівальні елементи, електрична дуга та інше), які навіть в нормальному режимі роботи мають дуже високу температуру [5]. Горючим середовищем в цих установках є навколишнє горюче середовище та ізоляційні матеріали самих установок [6].

Найбільшою причиною загоряння кабельної продукції є короткі замикання та перевантаження електромережі [7]. Перевантаження мережі прискорює процес старіння ізоляції [8]. Інтенсивність нагрівання залежить від величини та часу дії електричного струму на провідник і

площі його поперечного перерізу [9]. Підвищення температури значно скорочує термін експлуатації провідників. Старіння ізоляції супроводжується зміною її захисних та механічних якостей [10]. Вона стає крихкою, здатною ламатися та тріскатися, що може призвести до її пробію та короткого замикання.

**Мета та задачі досліджень.** Мета роботи полягає у визначенні ефективності протипожежного захисту кабельної продукції на основі аналізу чинників пожежної небезпеки під час експлуатації побутових електричних мереж. Для досягнення зазначеної мети необхідно було оцінити вплив аварійних режимів роботи на пожежну безпеку кабельної продукції для підвищення її вогнестійкості та безпеки використання в електричних мережах.

**Методи дослідження.** Для досягнення мети та реалізації поставлених завдань застосовано ряд методів, а саме: системний, теоретичного узагальнення, абстрактно-логічний, аналізу і синтезу, порівняльний, статистичний. Проаналізовано методи оцінювання чинників пожежної небезпеки під час експлуатації побутових електричних мереж.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналітичний огляд досліджень та публікацій показує, що найбільшою причиною загоряння кабельної продукції є короткі замикання та перевантаження електромережі [7]. Короткі замикання найчастіше трапляються через пошкодження ізоляції між фазами або між фазою і землею [11]. Що стосується пошкоджень ізоляції, до неї призводять ряд причин. Насамперед – це звичайне старіння ізоляції, в процесі якого під впливом багатьох факторів (температури, агресивного середовища і т.д.) ізоляція поступово втрачає свої властивості [10].

Старіння ізоляції може відбуватися швидкими темпами, якщо вона перебуває в умовах, на які не розрахована. Перевантаження мережі або ж використання не за призначенням тих чи інших електроприладів прискорює процес старіння ізоляції [8].

Інтенсивність нагрівання залежить від величини та часу дії електричного струму на провідник і площі його поперечного перерізу [9]. Перегрівання електричних мереж з горючою ізоляцією прискорює процес старіння ізоляції, що значно скорочує термін експлуатації провідників. До прикладу якщо переріз ізолюваного провідника вибрано заниженим від норми, то, під впливом завищених для нього струмових навантажень, він перегрівається до максимальної для цієї ізоляції температури і, в результаті, ізоляція цього провідника швидко втрачає свої початкові якості. Вона стає крихкою, здатною

ламатися та тріскатися, що може призвести до її пробую чи короткого замикання [10].

Дуже часто причиною пожежі є неякісна електропроводка або неправильно підібраний кабель для експлуатації. Проведено експериментальне дослідження показників пожежної безпеки для кабельно-провідних виробів при їх вертикальному прокладанні, що знижують загальний рівень пожежної безпеки електромереж об'єкта під час експлуатації [12]. Забезпечити нормальну експлуатацію електромережі можна, насамперед, правильно підібравши площу поперечного перерізу провідника [13]. При цьому враховують нагрівання провідника струмами навантаження.

Найбільшою причиною загоряння кабелів та проводів, що спричинює велику кількість пожеж щороку, є короткі замикання [7]. Найчастіше, в електромережах житлових будинків використовується двопровідникова схема електропостачання, в якій відсутнє захисне заземлення. Тому корпуси побутових приладів в помешканнях таких будинків не заземлені [14]. В зв'язку із цим виникає небезпека ураження мешканців дому електричним струмом, а також значно зростає пожежна небезпека внаслідок можливого виникнення перевантаження, короткого замикання, пошкодження ізоляції та інших проявів електричної енергії із збільшенням споживання електричної енергії. Експлуатацію мережі напругою 380/220 В і електроустаткування, приєднаного до неї, варто проводити відповідно до вимог технічного обслуговування електроустаткування [15]. Запобігти проблемам перевантаження та короткого замикання електромереж можна за допомогою використання спеціальних апаратів захисту [16].

Максимально допустимі значення плавкого запобіжника або автоматичного вимикача в приватній будівлі або в квартирі, згідно з нормованою встановленою потужністю електроспоживання, не повинні перевищувати 16 А при використанні мідних провідників і 10 А – при використанні алюмінієвої мережі. На жаль, побутові електричні мережі ще до недавнього часу не захищали людину від ураження електричним струмом [17]. В таких мережах були відсутні засоби захисту від перевантаження та струмів витоку. Плавкі запобіжники спрацьовували лише при різкому зростанні струму, а на струми короткого замикання малої величини не реагували, що призводило до тривалого перевантаження електричних мереж [18]. Відповідно такі апарати захисту здебільшого були малоефективними, внаслідок чого електричні мережі ставали пожежонебезпечними.

Ще одна проблема захисту мереж виникає, коли йде мова високоомні та низькоструміві несправності. Ці несправності зазвичай ініціюються при пробиванні фази на землю, але мають струми, яких недостатньо для спрацювання захисного пристрою електромережі. Однак ці несправності можуть розсіювати достатньо енергії та тепла, щоб викликати пожежу [19].

Автори [20] досліджують кабельні проходки у підземних тунелях, сховищах та підвальных приміщеннях, які становлять велику пожежну загрозу для людей, які під час повітряних тривог переходять у цих приміщеннях та спорудах. Для моделювання виникнення кабельних пожеж у вище згаданих приміщеннях та спорудах створене програмне забезпечення FDS, яке аналізує зміну температурного поля коридору та температуру стелі в підземних об'єктах при зміні потужності пожежі кабельних проходок.

Дослідники [21] вимірювали пожежні характеристики невеликих телекомунікаційних безгалогенних кабелів за допомогою конусного калориметра шляхом зміни кількох умов випробування (тепловий потік, кількість та відстань між кабелями) та властивостей кабелю (товщина оболонки та маса ізоляції). Ними запропоновано аналітичну феноменологічну підгонку для точного прогнозування основних пожежних характеристик (часу до займання, піку швидкості тепловиділення та часу до піку швидкості тепловиділення) з набору з 42 випробувань. Феноменологічна модель кількісно оцінює вплив різних умов випробування та властивостей кабелю. Досліджено вплив оболонки кабелю на затримку настання основного піку швидкості виділення тепла, що відповідає розкладанню негорючої ізоляції. Фітінг дає змогу краще передбачити пожежну небезпеку при горінні кабелів.

### **Основні результати.**

Пожежна безпека електротехнічних виробів виникає, в основному, через несправність або порушення правил експлуатації електропобутових приладів. Значно пожежонебезпечними в цих приладах вважаються електричні кабелі, проводи та шнури. Пожежна небезпека електропроводок обумовлена тим, що вони, маючи значне горюче навантаження та протяжність, можуть не лише підтримувати горіння, але й сприяти поширенню вогню на значну відстань від місця виникнення пожежі [10].

Внаслідок перевантаження провідники перегріваються. Кількість тепла, яка виділяється у провіднику при проходженні по ньому струму, згідно з законом Джоуля-Ленца, прямо пропорційна квадрату струму [13]:

$$Q = I^2 R t, [\text{Дж}], \quad (1)$$

де:  $Q$  – кількість тепла, що виділяється у провіднику при проходженні струму через нього;

$I$  – сила струму, що проходить через провідник;

$R$  – електричний опір провідника;

$t$  – час проходження струму через провідник.

Згідно з ДСТУ 8828-2019 [1] температуру провідника, який нагрівається струмом короткого замикання, обчислюють за формулою:

$$t_{np} = t_n + \frac{I_{к.з.}^2 \cdot R \cdot \tau_{к.з.}}{C_{np} \cdot m_{np}}, \quad (2)$$

де:  $t_n$  – початкова температура провідника, °С;

$I_{к.з.}$  – струм короткого замикання, А;

$R$  – опір провідника, Ом;

$\tau_{к.з.}$  – час короткого замикання, с;

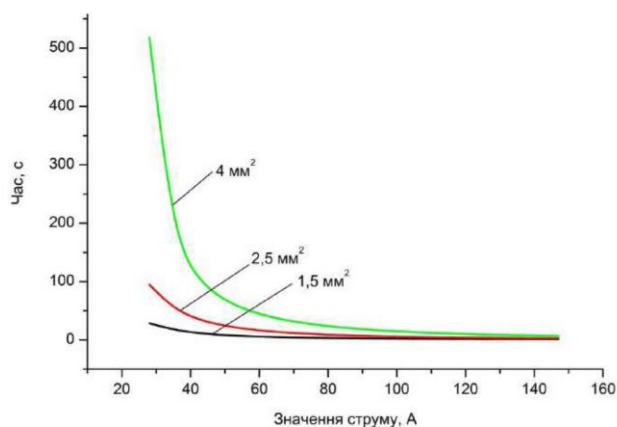
$C_{np}$  – теплоємність провідника, Дж·кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>;

$m_{np}$  – маса провідника, кг.

Від місця короткого замикання електропроводки розлітаються електричні іскри

(краплини металу) [1]. Розмір краплин металу сягає 3 мм. Під час короткого замикання частинки вилітають у всіх напрямках і їхня швидкість не перевищує 10 м/с. Температура краплин залежить від виду металу та дорівнює температурі плавлення. Температура краплин алюмінію у разі короткого замикання сягає 2500 °С. Зона розльоту частинок під час короткого замикання залежить від висоти розташування проводу, початкової швидкості польоту частинок, кута вильоту та носить імовірнісний характер. За висоти розміщення проводу 10 м ймовірність польоту іскри на відстань 9 м становить 0,06; 7 м — 0,45 і 5 м — 0,92; за висоти розміщення 3 м ймовірність польоту іскри на відстань 8 м становить 0,01, 6 м — 0,29 і 4 м — 0,96, а за висоти 1 м ймовірність польоту іскри на 6 м — 0,06, 5 м — 0,24, 4 м — 0,66 і 3 м — 0,99.

У роботі [9] автори отримали залежності температури нагрівання провідників від часу і величини струму, а також граничні значення температур пошкодження елементів оздоблювальних матеріалів. Розрахункові залежності часу нагрівання до гранично допустимої температури ізоляції від значення струму для провідників з різними поперечними перерізами наведені у вигляді графіка (рис. 1) [10].



**Рисунок 1** – Залежність часу нагрівання жил провідників до гранично допустимої температури їх ізоляції від значення струму (джерело [10])

Із отриманої залежності випливає, що час нагрівання жил провідників до гранично допустимої температури їх ізоляції скорочується при зростанні струму, що проходить через провідник, і при зменшенні площі його поперечного перерізу. Правильне проектування та монтаж електропроводок створюють умови для безаварійної роботи електропристроїв. Значно забезпечити нормальну експлуатацію електромережі можна, насамперед, правильно підбравши площу поперечного перерізу провідника [13]. При цьому враховують нагрівання провідника струмами навантаження [7].

З метою аналізу вогнезахисних властивостей старих та нових кабелів за допомогою експериментів TG, FTIR та МСС проведені дослідження вогнезахисних властивостей ПВХ оболонки старих і нових кабелів [22]. Результати показують, що втрата маси старої оболонки кабелю явно більша, ніж нової, коли температура вище 550 К в атмосфері повітря або азоту. Отож, можна припустити, що стара оболонка кабелю починає піролізуватися загалом при тій же температурі на основі аналізу температур початку втрати маси. Результати також показують, що існує основний пік DTG для старої та нової оболонки кабелю за кожної умови. Однак основний пік DTG старої



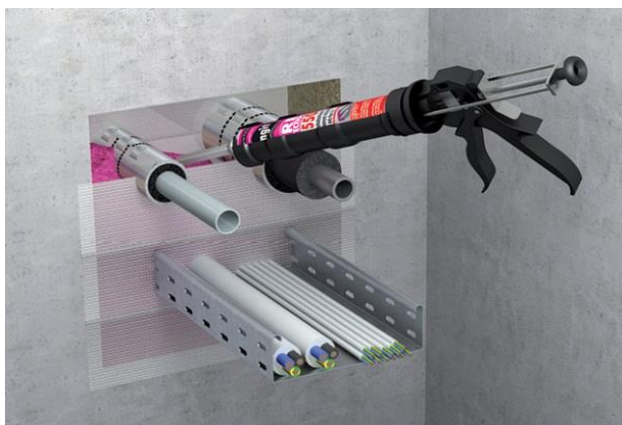
оболонки кабелю більший, ніж нової оболонки кабелю, особливо в повітряній атмосфері. Експерименти FTIR показують, що HCl виділяється новим кабелем пізніше, але швидше, ніж старим. Експерименти МСС показують, що порівняно з новим, пікова швидкість виділення тепла у старого кабелю вища. Це ілюструє, що стара оболонка кабелю зазвичай піролізується і горить сильніше і повніше, ніж нова. Отже, вогнезахисні властивості старого кабелю в старих будівлях відносно слабкі.

Для дослідження характеристик складу піролізу газових продуктів кабелів під час пожежі проведено експеримент з моделювання горіння керуючого кабелю на підстанції [23]. При цьому був використаний синхронний термічний аналізатор, трубчастий топковий аналізатор димових газів та газова хромато-мас-спектрометрія (ГХ-МС). Внаслідок реакції окиснення масова частка залишків піролізу контрольного кабелю в атмосфері азоту, як правило, вища, ніж у повітряній атмосфері. Вихід CO<sub>2</sub> зазвичай більш ніж у 10 разів перевищує вихід CO, а вихід HCl становить лише 20 % від CO. Органічні продукти в основному включають ряди бензолу, і його вихід коливається від 0,0001 до 0,04 г/г. Згідно з аналізом складу продуктів піролізу, газоподібні продукти піролізу контрольних кабелів мають певну токсичність та корозійність, а також мають певні ризики для безпеки персоналу та навколишнього середовища під час пожежі.

Підвищення необхідного рівня безпеки кабелів є важливою основою для забезпечення надійності міського споживання електроенергії. Важливим завданням ефективного протипожежного захисту кабельної продукції – запобігти швидкому поширенню вогню, зменшити

розповсюдження джерела загоряння та обмежити шкоду, яку вогонь може заподіяти будівлі. В цьому випадку необхідно подумати про вогнестійкість кабелю та ефективність протипожежного захисту отворів для труб та кабелів, зроблених в стінах та стелі будівлі. При перевантаженнях мережі або ж використання тих чи інших електроприладів не за призначенням, доцільно було би використання вогнестійкого кабелю, який продовжував би функціонувати протягом певного часу в умовах відкритого вогню. Для запобігання швидкому розповсюдженню вогню від джерела загоряння найкраще використовувати розроблені нові типи нанометрового вогнезахисного покриття та проміжної захисної коробки кабелю [24]. Таке поєднане застосування дасть можливість підвищити вогнестійкість кабельної продукції при її використанні в електричних мережах. Вогнестійкі кабельні системи істотно впливають на забезпечення пожежної безпеки в комерційних висотних будівлях, лікарнях та інших небезпечних будівлях [25]. Навіть під час пожежі вогнестійкі кабелі протягом 1 – 3 годин захищають електричну систему від вогню, внаслідок чого забезпечують час для безпечного відключення від електромережі під час гасіння [26].

В місцях підвищеної пожежонебезпеки для більш якісного захисту кабелів краще прокладати у трубі з негорючого матеріалу або металорукаві. Наявні отвори для труб та кабелів, зроблені в стінах та стелі, повинні бути ефективно захищені засобами протипожежного захисту. Для збереження протипожежної ефективності кабельних проходів існує широкий асортимент пожежостійких засобів при прокладанні кабельної продукції (рис. 2) [27].



**Рисунок 2** – Вогнезахисна герметизація місць ущільнення труб і кабелів (джерело інтернет-ресурсу: <https://www.walraven.com.ua> (дата звернення: 03.04.2023))

Стандартні протипожежні гільзи – популярний вибір, коли йдеться про протипожежну герметизацію труб та каналів крізь

стіни чи стелю. Вони підходять для використання на пластикових трубах і зазвичай виготовляються зі сталі з внутрішньою вкладкою зі спеціального

набухового матеріалу, який активується у разі пожежі. Термічне розширення вкладки під дією пожежі забезпечує герметизацію отвору, у якому знаходиться труба, що руйнується, зберігаючи цілісність структури. Після розширення протипожежна гільза забезпечує вогнестійкість від 2 до 4 годин залежно від матеріалу труби та її застосування.

Згідно з [28], кабельні канали, кабельні підвали, кабельні тунелі вздовж станцій, кабельні поверхи, кабельні колектори наземних об'єктів та електродепо обладнують системою пожежної сигналізації при пожежному навантаженні менше за 180 МДж/кг. Умовою обладнання вказаних приміщень автоматичною системою пожежогасіння є наявність пожежного навантаження, що перевищує 180 МДж/кг.

Ще один варіант використання протипожежного захисту кабельної продукції – це використання вогнестійких лотків для прокладання електропроводки [29]. Використання в лотках нержавіючої сталі 316L здається універсальним щодо аспектів корозійності та вогнестійкості. При цьому економічний аспект ціни та ваги повинен спонукати інженерів розширити використання систем кабельних лотків для забезпечення вогнестійкості кабельної продукції.

**Висновки.** Виходячи з аналізу літературних джерел, стан електротехнічних пристроїв показав, що найбільш пожежонебезпечними з них вважаються електричні кабелі, проводи та шнури, які, маючи значне горюче навантаження, підтримують горіння та сприяють поширенню вогню на значну відстань. Проаналізовані результати досліджень вогнезахисних властивостей оболонки кабелів показали, що оболонка старого кабелю піролізується і горить сильніше та повніше, ніж оболонка нового. Газоподібні продукти піролізу кабелів мають певну токсичність та корозійність, а тому мають певні ризики для безпеки персоналу та навколишнього середовища.

На основі аналізу розглянуто основні пожежні характеристики (час до займання, пік швидкості тепловиділення та час до піку швидкості тепловиділення), які кількісно оцінюють вплив різних умов на властивості кабелю. Проаналізовано дослідження впливу оболонки кабелю на затримку настання основного піку швидкості виділення тепла, що відповідає розкладу негорючої ізоляції. Встановлено, що для запобігання швидкому розповсюдженню вогню від джерела загоряння найкраще використовувати розроблені нові типи нанометрового вогнезахисного покриття та проміжної захисної коробки кабелю.

## Список літератури:

1. ДСТУ 8828: 2019. Пожежна безпека. Загальні положення. Київ, 2019. 84 с.
2. ДСТУ 4809:2007 Ізольовані проводи та кабелі. Вимоги пожежної безпеки та методи випробування [Чинний від 2008-01-01]. Київ: Держстандарт України, 2007. 35 с.
3. Кравець І.П., Коваль М.С. Аналіз пожежонебезпечних проявів електричного струму. Збірник наукових праць «Пожежна безпека». 2007. № 10. С. 75–81.
4. Назаровець О. Б. Визначення причин виникнення пожеж в житлових та громадських будівлях від внутрішніх електромереж: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 21.06.02. Львів, 2015. 20 с.
5. Марущак Я.Ю., Мусихіна Н.П., Кравець І.П. Експериментальне визначення параметрів трифазного струмопроводу установок електродугового нагріву. Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут": Збірн. наук.-техн. праць "Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика". 2010. С. 332–334.
6. Бондаренко Є. А., Кутін В.М. Удосконалення методу забезпечення електробезпеки під час виконання робіт на струмовідних частинах електроустановок надвисоких класів напруги. Зб. наук. пр. «Енергетика: економіка, технології, екологія». 2014. № 4. С. 26–34.
7. Кравець І. П., Башинський О. І., Кушнір А. П., Шаповалов О. В. Чинники пожежної небезпеки електрообладнання та електроустановок. Збірник наукових праць «Пожежна безпека». 2019. № 34. С. 43–46.
8. Гудим В. І., Назаровець О.Б., Шпак Т.О. Мікроструктурний фазовий аналіз зразків мідних дротів нагрітих постійним струмом. Збірник наукових праць «Пожежна безпека». 2018. № 33. С. 35–40.
9. Гудым В.И., Назаровец О.Б., Ференц Н.А. Исследование условий возгорания отделочных материалов от электрических проводников нагретых током. Вестник Кокшетауского технического института Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан. 2015. №1(17). С. 37–44.
10. Гудим В.І., Юрків Б.М., Назаровець О.Б. Математичне моделювання процесів нагрівання провідників внутрішніх електричних мереж житлових та громадських будівель. Збірник наукових праць «Пожежна безпека». 2015. № 26. С. 59–64.
11. Кравець І. П., Кобко В.А. Протипожежний захист сільських електричних мереж від струмів короткого замикання. Збірник наукових праць «Пожежна безпека». 2004. № 4. С. 127–131.

12. Рудик Ю. І., Шунькін В. М. Визначення обсягу горючого матеріалу кабельних виробів при випробуванні за показниками пожежної безпеки. Збірник наукових праць «Пожежна безпека». 2019. № 34. С. 78–83.
13. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. К.: Міненерговугілля України, 2017. 617 с.
14. Гудим В.І., Мнухін А.Г., Назаровець О.Б. Визначення причетності мідних провідників електричних мереж до виникнення пожеж на основі локального рентгеноспектрального аналізу. Збірник наукових праць «Пожежна безпека». 2017. № 30. С. 61–68.
15. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Київ, 2013. 93 с.
16. Коваль О.М. Технічні засоби підвищення рівня пожежної безпеки побутових електромереж. Збірник наукових праць «Пожежна безпека». 2007. № 11. С. 11–16.
17. Гудим В.І., Рудик Ю.І., Коваль О.М. Обґрунтування вибору схем побутових електромереж для підвищення їх пожежної безпеки. Збірник наукових праць «Пожежна безпека». 2008. № 12. С. 134–140.
18. Cui L., Gorur R. S., Chipman D. (2017). Evaluating flashover performance of insulators under fire fighting conditions. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 24, 1051-1056. DOI: 10.1109/TDEI.2017.005817.
19. Baen P., Jones R., Mohla D., Rafferty N.R., Robicheaux L. (2017). Safety considerations for electrical heat tracing. *IEEE Industry Applications Magazine*, 26, 49-59.
20. Kai Liang, Xiongfei Hao, Weiguang An, Yanhua Tang. (2019). Study on cable fire spread and smoke temperature distribution in T-shaped utility tunnel. *Journal of Case Studies in Thermal Engineering*, 14, 254-261.
21. Carcillo Magalie, Caro Anne-Sophie, Lagrève Christian. (2018). Fire behaviour of electrical cables in cone calorimeter: Influence of cables structure and layout. *Fire Safety Journal*, 6, 12-21.
22. QiyuanXie, HepingZhang, LinTong (2020). Experimental study on the fire protection properties of PVC sheath for old and new cables. *Journal of Hazardous Materials*, 179, 373-381.
23. Jia Xie, Jiaqing Zhang, Yi Guo, Shenglong Zhu, Daoyou Huang. (2021). Composition Characteristics Study on The Pyrolysis Gas Products of Substation Control Cables under Fire. 6th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE), april 2021, Chongqing, China, 284-289. DOI: 10.1109/ACPEE51499.2021.9437044.
24. Xiaoli D., Sanwei L., Fuyong H., Jianjia D., Yungen L. (2020). Analysis and Suggestions on the essential safety enhancement of power cables and channels. 2020 7th International Forum on Electrical Engineering and Automation (IFEEA), Sept. 2020, Hefei China, 448-454. DOI: 10.1109/IFEEA51475.2020.00024.
25. Milne I.J. (2017). Fire protection of critical circuits-a life and property preserver. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 34, 689-696.
26. 1844-2015 – IEEE Standard Test Procedure for Determining Circuit Integrity Performance of Fire Resistive Cables in Nuclear Facilities. (2016). <https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac>.
27. <https://www.walraven.com.ua> (дата звернення: 03.04.2023).
28. ДБН В.2.5-56:2014. Системи протипожежного захисту. Зміна № 1. Київ, 2014. 127 с.
29. Luc Desmouliere. (2015). Cable trays offshore: A choice of materials. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 22, 201-208.

#### References:

- DSTU 8828: 2019. Fire Security. Terms. (2019). Kyiv. 84 (in Ukr.).
- DSTU 4809:2007 Izolovani provody ta kabeli. Vymohy pozhezhnoi bezpeky ta metody vyprobuvannia – [Chynnyi vid 2008-01-01]. (2007). K.: Derzhstandart Ukrainy. 35 (in Ukr.).
- Kravets I.P., Koval M.S. (2007). Analysis of flammable manifestations of electric current. Collection of scientific works «Fire Security», 10, 75-81 (in Ukr.).
- Nazarovets O. B. Determining the causes of fires in residential and public buildings from internal electric networks. – Manuscript. Dissertation candidate of technical sciences, 21.06.02. Lviv, 2015.
- Marushchak Y.Yu., Musikhina N.P. Kravets I.P. (2010). Experimental determination of the parameters of the three-phase current line of electric arc heating installations. Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute": Collection of scientific works "Problems of an automated electric drive. Theory and practice", 332-334 (in Ukr.).
- Bondarenko E. A., Kutin V.M. (2014). Perfection of the method of electro securite in time of works on parts current's of the electrical installation ultrahigh of voltage. *Zb. sciences. pr. «Energy: economy, technologies, ecology»*, 4, 26-34 (in Ukr.).
- Kravets I. P., Bashynskiy O. I., Kushnir A. P., Shapovalov O. V. (2019). Factors of fire danger of electrical equipment and electrical installations. Collection of scientific works «Fire Security», 34, 43-46 (in Ukr.).
- Hudym V.I, Nazarovets O.B., Shpak T.O. (2018). Microstructural phase analysis of copper wire samples heated by direct current. Collection of scientific works «Fire Security», 33, 35-40 (in Ukr.).



9. Hudym V.I, Nazarovets O.B., Ferenc N.O. (2015). Investigation of the ignition conditions of finishing materials from electric conductors heated by current. Bulletin of the Kokshetau Technical Institute of the Committee for Emergency Situations of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan, 17, 37-44 (in Kazakhstan).
10. Hudym V.I., Yurkiv B.M., Nazarovets O.B. (2015). Mathematical modeling of heating processes of conductors of internal electrical networks of residential and public buildings. Collection of scientific works «Fire Security», 26, 59-64 (in Ukr.).
11. Kravets I.P., Kobko V. A. (2004). Fire protection of rural electric networks from short-circuit currents. Collection of scientific works «Fire Security», 4, 127-131 (in Ukr.).
12. Rudyk Yu. I., Shunkin V. M. (2019). Determination of the amount of combustible material of cable products when tested for fire safety. Collection of scientific works «Fire Security», 34, 78-83 (in Ukr.).
13. PUE–2017. Rules of arrangement of electrical installations. (2017). K.: Ministry of Energy and Coal of Ukraine. 617 (in Ukr.).
14. Hudym V.I., Mnuchin A.G., Nazarovets O.B. (2017). Determination of the involvement of copper conductors of electrical networks in the occurrence of fires based on local X-ray spectral analysis. Collection of scientific works «Fire Security», 30, 61-68 (in Ukr.).
15. NPAOP 40.1-1.21-98. Rules for the safe operation of consumer electrical installations. (2013). Kyiv. 93 (in Ukr.).
16. Koval O.M. (2007). Technical means of increasing the level of fire safety of household electrical networks. Collection of scientific works «Fire Security», 11, 11-16 (in Ukr.).
17. Hudym V.I, Rudyk Yu. I., Koval O.M. (2008). Justification of the choice of schemes of household power grids to increase their fire safety. Collection of scientific works «Fire Security», 12, 134-140 (in Ukr.).
18. Cui L., Gorur R. S., Chipman D. (2017). Evaluating flashover performance of insulators under fire fighting conditions. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 24, 1051-1056. DOI: 10.1109/TDEI.2017.005817.
19. Baen P., Jones R., Mohla D., Rafferty N.R., Robicheaux L. (2017). Safety considerations for electrical heat tracing. IEEE Industry Applications Magazine, 26, 49-59.
20. Kai Liang, Xiongfei Hao, Weiguang An, Yanhua Tang. (2019). Study on cable fire spread and smoke temperature distribution in T-shaped utility tunnel. Journal of Case Studies in Thermal Engineering, 14, 254-261.
21. Carcillo Magalie, Caro Anne-Sophie, Lagrève Christian. (2018). Fire behaviour of electrical cables in cone calorimeter: Influence of cables structure and layout. Fire Safety Journal, 6, 12-21.
22. QiyuanXie, HepingZhang, LinTong (2020). Experimental study on the fire protection properties of PVC sheath for old and new cables. Journal of Hazardous Materials, 179, 373-381.
23. Jia Xie, Jiaqing Zhang, Yi Guo, Shenglong Zhu, Daoyou Huang. (2021). Composition Characteristics Study on The Pyrolysis Gas Products of Substation Control Cables under Fire. 6th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE), april 2021, Chongqing, China, 284-289. DOI: 10.1109/ACPEE51499.2021.9437044.
24. Xiaoli D., Sanwei L., Fuyong H., Jianjia D., Yungen L. (2020). Analysis and Suggestions on the essential safety enhancement of power cables and channels. 2020 7th International Forum on Electrical Engineering and Automation (IFEEA), Sept. 2020, Hefei China, 448-454. DOI: 10.1109/IFEEA51475.2020.00024.
25. Milne I.J. (2017). Fire protection of critical circuits-a life and property preserver. IEEE Transactions on Industry Applications, 34, 689-696.
26. 1844-2015 – IEEE Standard Test Procedure for Determining Circuit Integrity Performance of Fire Resistive Cables in Nuclear Facilities. (2016). <https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac>.
27. <https://www.walraven.com.ua> (date of application: 03.04.2023).
28. DBN B. 2.5-56:2014. Fire protection systems. Changes No. 1 dated 07/30/2019. (2014). Kyiv. 127 (in Ukr.).
29. Luc Desmouliere. (2015). Cable trays offshore: A choice of materials. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 22, 201-208.

© А. С. Лин, І. П. Кравець,  
 Н. О. Ференц, М. З. Пелешко, 2023.  
**Оглядова.**  
 Надійшла до редакції 27.03.2023.  
 Прийнято до публікації 16.05.2023.