

**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

**Львівський державний університет безпеки життєдіяльності**

**НАЗАРОВЕЦЬ ОЛЕГ БОГДАНОВИЧ**



УДК 614.841.2

**ВИЗНАЧЕННЯ ПРИЧИН ВИНИКНЕННЯ ПОЖЕЖ В ЖИТЛОВИХ ТА  
ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЛЯХ ВІД ВНУТРІШНІХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ**

21.06.02 – пожежна безпека

**Автореферат**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Львів – 2015

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності ДСНС України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор, **Гудим Василь Ілліч**, професор кафедри електротехніки, промислової та пожежної автоматики Львівського державного університету безпеки життєдіяльності

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник **Мнухін Анатолій Григорович**, професор кафедри прикладної екології та охорони праці Запорізької державної інженерної академії МОН України

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник **Кравченко Ростислав Іванович**, провідний науковий співробітник відділу технічного регулювання, науково-дослідного центру технічного регулювання Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту

Захист відбудеться „28” грудня 2015 року о 14<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 35.874.01 у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності за адресою: 79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Львівського державного університету безпеки життєдіяльності за адресою: 79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35.

Автореферат розіслано „27” листопада 2015 року

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради К 35.874.01  
к.т.н., доцент



В.М. Баланюк

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Використання сучасного побутового та офісного обладнання, а також задоволення вимог комфорту є неможливими без використання електричних мереж, як найбільш універсального виду електроносія.

Закономірне зростання кількості і потужності споживачів електроенергії призводить до перевантаження електричних мереж, особливо у будинках старої забудови, що призводить до швидкого старіння ізоляції, її руйнування і, відповідно, скорочення терміну експлуатації провідників.

На сьогодні багато питань щодо внутрішніх електричних мереж житлових та громадських будівель, пов'язаних з їх пожежною небезпекою, поки що не врегульовані та потребують вирішення. Слід чітко розмежувати джерела запалювання від електромагнітних явищ і джерела запалювання від процесів, які виникають під час експлуатації електроустановок, та електрообладнання, параметри яких можуть досягнути пожежонебезпечного рівня лише під час аварійної роботи.

Згідно з картками обліку пожеж, в Україні за останні роки майже 80 % усіх пожеж виникали на території житлового сектора, з яких 30-40 % - в житлових будинках. Внаслідок пожеж гине 3-4 тис. осіб на рік, з яких 90 % - у житловому секторі. Серед основних причин виникнення пожеж майже 25 % - це порушення правил пожежної безпеки при влаштуванні та експлуатації електроустановок.

Відомі методи визначення причетності електроустановок до виникнення пожеж у багатьох випадках є неоднозначними, а це наводить на висновок, що число 25 % пожеж, які виникають від електроустановок, є явно завищеним. У зв'язку з цим, була поставлена науково-технічна задача вдосконалити методи визначення причетності внутрішніх електричних мереж житлових та громадських будівель до виникнення пожеж.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана у рамках Концепції наукового забезпечення діяльності Міністерства надзвичайних ситуацій України (Наказ МНС України від 02.08.2012 р. № 1081), під час виконання науково-дослідної роботи у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності за темою «Дослідження причин виникнення пожеж від режимів електричних мереж і розробка рекомендацій щодо їх запобігання» (державний реєстраційний номер 0114U005469), в якій здобувач був відповідальним виконавцем.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є розробка методу визначення причетності внутрішніх електричних мереж житлових та громадських будівель до виникнення пожеж на основі аналізу зміни мікроструктури мідних провідників, які побували в умовах пожеж.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі задачі:

1. На основі аналізу публікацій та нормативно-правових актів виявити недоліки у методиці визначення причин виникнення пожеж в житлових та громадських будівлях від внутрішніх електромереж.

2. На основі методу планування наукових експериментів сформулювати план випробувань елементів внутрішніх електромереж та вибір температурних режимів для виконання досліджень.

3. Провести експерименти із загоряння оздоблювальних елементів житлових та громадських будівель від нагрітих струмом провідників внутрішніх електромереж і встановити параметри їх загорянь.

4. З метою моделювання процесів нагрівання провідників внутрішніх електричних мереж житлових та громадських будівель, удосконалити математичну модель в якій врахувати параметри та характеристики досліджуваних провідників, а також умови їх прокладання.

5. Виявити та дослідити ознаки причетності внутрішніх електричних мереж житлових та громадських будівель до виникнення пожеж методом рентгенофазового та металографічного аналізів.

6. Методом локального рентгеноспектрального аналізу виявити ознаки причетності внутрішніх електричних мереж житлових та громадських будівель до виникнення пожеж та дослідити їх ефективність.

**Об'єкт дослідження** – процеси нагрівання елементів внутрішніх електричних мереж струмами перевантажень та коротких замикань.

**Предмет дослідження** – зміна макро- та мікроструктури мідних провідників внутрішніх електричних мереж житлових та громадських будівель зумовлених дією електричних та теплових навантажень.

**Методи дослідження.** Основні наукові результати було отримано з використанням таких методів: планування наукового експерименту – для складання програми виконання дослідження; мікроструктурного аналізу – для визначення мікроструктурних особливостей мідних провідників, які нагрівалися струмом та відкритим полум'ям; рентгенофазового та локального рентгеноспектрального аналізів – для встановлення якісного та кількісного складу фази; математичного моделювання електротеплових режимів – для отримання залежностей зміни температури нагрівання провідника від густини струму, а також часу нагрівання провідника до гранично допустимих температур залежно від значення струму.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у розкритті залежностей нагрівання мідних електричних провідників внутрішніх електромереж електричним струмом, на їх мікроструктуру з урахуванням величини початкової температури, яка виникає під час пожеж. При цьому:

- вперше на основі аналізу процесів рекристалізації міді, обґрунтовано інтервали значень температур, у яких відбувається зміна мікроструктури матеріалу електричних провідників, що чітко проявляється у повздовжніх шліфах, на яких видно зміну форми кристалів та міжзеренні пошкодження. Це дає змогу зменшити кількість ознак, які свідчать про причетність електричних режимів внутрішніх електромереж до виникнення пожежі;

- вперше методом локального рентгеноспектрального аналізу встановлено, що залишковий вміст Оксигену в мікроструктурі мідного провідника, який нагрівається електричним струмом, збільшується зі зростанням температури нагрівання, що свідчить про непричетність електромережі до виникнення пожежі, а також показано, що охолодження водою нагрітої поверхні мідного провідника внутрішніх електромереж, під час гасіння пожежі, призводить до зростання вмісту Оксигену в матеріалі електричного провідника та утворення тріщин (флокенів), що вказує на вторинність короткого замикання, як джерела виникнення пожежі;

- удосконалено математичну модель нестационарних електротеплових процесів, які відбуваються у внутрішніх електромережах, що дало змогу встановити залежності пожежонебезпечних температур під час нагрівання електричних провідників від різних струмових навантажень.

### **Практичне значення одержаних результатів**

Шляхом математичного моделювання встановлено час досягнення усталеного режиму залежно від густини струму у провіднику, що дає змогу з більшою точністю вибрати вставки апаратів захисту, призначені для обмеження часу протікання струму короткого замикання. Це дає можливість перевіряти вибрані захисні елементи в ході огляду місця пожежі.

На основі математичних експериментів встановлено, що допустимий струм 18 А для мідного провідника з перерізом 1,5 мм<sup>2</sup> є завищеним, оскільки прийнято, що температура навколишнього середовища дорівнює 20 °С, а насправді вона може бути значно більшою, що необхідно враховувати під час проектування.

Результати дисертаційного дослідження впроваджені у практичну діяльність науково-дослідного експертно-криміналістичного центру при ГУ МВС України у Львівській області, а також у практичній діяльності дослідно-випробувальних лабораторій ДСНС України у Львівській та Тернопільській областях.

Основні положення роботи також впроваджено та використовуються в навчальному процесі Львівського державного університету безпеки життєдіяльності при вивченні дисциплін «Електротехніка та пожежна профілактика в електроустановках» за напрямом підготовки «Пожежна безпека» та «Електротехніка та запобігання аварій в електроустановках» за напрямом підготовки «Цивільний захист».

**Особистий внесок здобувача.** Основні наукові результати роботи отримані автором самостійно. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, здобувачем проведено аналіз статистичних даних та бази методів дослідження причетності аварійних режимів електромережі до виникнення пожежі [1, 7]; проведено експериментальні дослідження нагрівання мідних провідників внутрішніх електромереж струмом і полум'ям та обробку результатів [2, 3, 6]; змодельовано процеси нагрівання провідників внутрішніх електричних мереж житлових та громадських будівель [5]; проведено чисельні експерименти з визначення температури нагрівання провідників електромереж струмами короткого замикання [4]; проаналізовано та узагальнено мікроструктурні особливості мідних провідників внутрішніх електричних мереж житлових та громадських будівель залежно від джерела нагрівання [8, 9, 10]; обґрунтовано основні засади формування методу виявлення причин загорянь від електромереж [11].

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на науковому семінарі «Теоретичні та практичні проблеми забезпечення техногенної та пожежної безпеки об'єктів» Інституту пожежної та техногенної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності (2013, 2014, 2015); на II Міжнародній науково-практичній конференції «Техногенна безпека: теорія, практика, інновації» (м. Львів, 2011); X Міжнародній науково-практичній конференції «Пожежна безпека – 2011» (м. Харків, 2011); I Всеукраїнській науково-технічній конференції викладачів,

аспірантів і студентів «Сучасні проблеми систем електропостачання промислових та побутових об'єктів» (м. Донецьк, 2012); Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми технічних та соціально-гуманітарних наук у забезпеченні діяльності служби цивільного захисту» (м. Черкаси, 2013); І Міжнародній науково-технічній конференції викладачів, аспірантів і студентів «Сучасні проблеми систем електропостачання промислових та побутових об'єктів» (м. Донецьк, 2013).

**Публікації.** Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в 11 наукових працях, з яких 4 – у наукових фахових виданнях України, 2 – у закордонних та 5 – у збірниках матеріалів науково-технічних конференцій, симпозіумів.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 116 найменувань на 14 стор.; 2 додатків на 22 стор. Основна частина дисертації займає 131 стор. та містить 76 рисунки і 5 таблиць. Загальний обсяг роботи – 167 стор.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, відображено наукову новизну, практичне значення, апробацію отриманих результатів, а також дані щодо їх публікації.

У **першому розділі** на основі огляду літературних джерел проаналізовано сучасний стан проблеми, показано недоліки у методиках проведення експертиз встановлення причетності внутрішніх електричних мереж житлових та громадських будівель до виникнення пожеж, що дало змогу обґрунтувати мету роботи.

Досліджуваним питанням займалися вчені багатьох наукових шкіл. Це зокрема, Хагемайер В.О., Етлінг Б.В., Смелков Г.І., Шульгін С.О., Мітрічев Л.С., Фетісов П.А., Желавський В.Ф., Степаненко С.Г., Саріогло Д.П., Кравченко Р.І. та інші, але і досі не існує єдиного методу визначення причетності електроустановок до виникнення пожеж. Таким чином, питання пожежної безпеки в електроустановках, а також пошук методів виявлення їх причетності до виникнення пожеж, є важливим і актуальним.

**Другий розділ** присвячений аналізу фізико-технічних характеристик матеріалів з яких виготовляються кабельно-провідникові вироби (КПВ), передовсім прийнято за основу дослідження структури електротехнічної міді та температуру загоряння ізоляційних матеріалів (гума, полівінілхлорид (ПВХ)). Охарактеризовано найпоширеніші методи визначення причетності внутрішніх електричних мереж до виникнення пожежі в житлових та громадських будівлях.

На основі обробки результатів багатьох попередніх експериментів та методів їх планування, вибрано найбільш визначальні варіанти виконання електричних мереж та їх режимів, з метою отримання граничних випадків та скорочення загальної кількості експериментів. В результаті було досліджено поведінку оздоблювальних будівельних матеріалів під час їх нагріванні різними за величиною струмовими навантаженнями проводів різної конструкції, а також зміну температури на поверхні матеріалу залежно від часу протікання і величини струму у

провідниках.

Під час проведення експериментів на поверхні оздоблювальних матеріалів прокладався мідний ізольований провідник, під яким встановлювалась термопара для контролю нагрівання поверхні матеріалу.

Експеримент тривав 13 хвилин, упродовж яких щохвилини струм збільшувався на 5 А. При цьому початкова температура провідника дорівнювала 20 °С. Результати експериментальних досліджень наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Режимы нагрівання електричних провідників, прокладених по поверхні оздоблювальних матеріалів

| Час,<br>хв | Струм,<br>А | Вагонка<br>пластикова | Лакована<br>тирсоплита | Гіпсокартон | Фанера | Пінополістирол |
|------------|-------------|-----------------------|------------------------|-------------|--------|----------------|
|            |             | Температура, °С       |                        |             |        |                |
| 1          | 15          | 20                    | 20                     | 20          | 20     | 20             |
| 2          | 20          | 27                    | 24                     | 25          | 25     | 25             |
| 3          | 25          | 41                    | 27                     | 32          | 28     | 27             |
| 4          | 30          | 50                    | 35                     | 43          | 43     | 31             |
| 5          | 35          | 65                    | 42                     | 54          | 54     | 39             |
| 6          | 40          | 75                    | 54                     | 61          | 62     | 48             |
| 7          | 45          | 102                   | 59                     | 70          | 78     | 62             |
| 8          | 55          | 115                   | 61                     | 83          | 83     | 83             |
| 9          | 65          | 123                   | 70                     | 91          | 111    | 96             |
| 10         | 75          | 130                   | 75                     | 104         | 130    | 101            |
| 11         | 85          | 142                   | 98                     | 130         | 170    | 112            |
| 12         | 95          | 171                   | 102                    | 150         | 198    | 121            |
| 13         | 100         | 198*                  | 115                    | 170         | 210**  | 130***         |

\* – матеріал сплавився

\*\* – почалось тління

\*\*\* – відбулось полум'яне горіння

В результаті дослідження поведінки пластикової вагонки, вже на 4 хвилині при температурі на поверхні 50 °С, ізоляція почала плавиться, на 7 хвилині при температурі 102 °С плавиться вагонка, а на 13 хвилині при температурі 198 °С провідник розплавився, полум'яного горіння не відбулося.

Під час дослідження поведінки фанери, на 4 хвилині при температурі на поверхні 43 °С починає плавиться ізоляція в місці з'єднання, на 6 хвилині при температурі 62 °С починає плавиться ізоляція по всій довжині, на 8 хвилині при температурі 83 °С, починає жовтіти фанера, на 12 хвилині при температурі 198 °С почервонів провід, на 13 хвилині при температурі 210 °С провідник розплавився, фанера обвуглилась, але полум'яного горіння не відбулося.

Під час дослідження поведінки лакованої тирсоплити на 8 хвилині при температурі на поверхні  $61\text{ }^{\circ}\text{C}$  ізоляція почала інтенсивно плавиться, на 10 хвилині і при температурі  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$  чорніє лак, на 13 хвилині при температурі  $115\text{ }^{\circ}\text{C}$  провідник розплавився, плита обвуглилась, полум'яного горіння не відбулося.

Дослідження поведінки гіпсокартону показало, що на 4 хвилині при температурі на поверхні  $43\text{ }^{\circ}\text{C}$  починається диміння, на 7 хвилині і при температурі  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  починає плавиться ізоляція, на 8 хвилині при температурі  $83\text{ }^{\circ}\text{C}$  починає жовтіти декоративна плівка, на 17 хвилині при температурі  $170\text{ }^{\circ}\text{C}$  провідник розплавився, плівка не зайнялась.

При дослідженні поведінки пінополістиролу, вже на 4 хвилині і при температурі на поверхні  $31\text{ }^{\circ}\text{C}$  він починає плавитись від провідників (рис. 1 а), на 13 хвилині і при температурі  $130\text{ }^{\circ}\text{C}$  провідник розплавився, а пінополістирол зайнявся, відбулося полум'яне горіння (рис. 1 б).



а)



б)

Рисунок 1 – Зовнішній вигляд зрізів з пінополістиролу:

а) – до експерименту; б) – після експерименту

З метою узагальнення результатів було побудовано графічну залежність зміни температури нагрівання поверхні матеріалу від часу протікання струму у провідниках і виду оздоблювального матеріалу (рис. 2).

З рис. 2 видно, що до 6 хвилини усі зрізи нагріваються рівномірно в діапазоні  $50\text{--}70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , з 6 до 10 хвилини починається різке збільшення температури на поверхні пластикової вагонки до  $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ , менш стрімко, але також до  $130\text{ }^{\circ}\text{C}$  на 10 хвилині нагрілась фанера, найнижча температура на 10 хвилині була на поверхні лакованої тирсоплити –  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

На 13 хвилині найвища температура була на поверхні фанери –  $210\text{ }^{\circ}\text{C}$ , та пластикової вагонки –  $198\text{ }^{\circ}\text{C}$ , найнижча – на поверхні лакованої тирсоплити –  $115\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

У **третьому розділі** здійснено вдосконалення математичної моделі нестационарних електротеплових процесів нагрівання провідників внутрішніх електромереж.



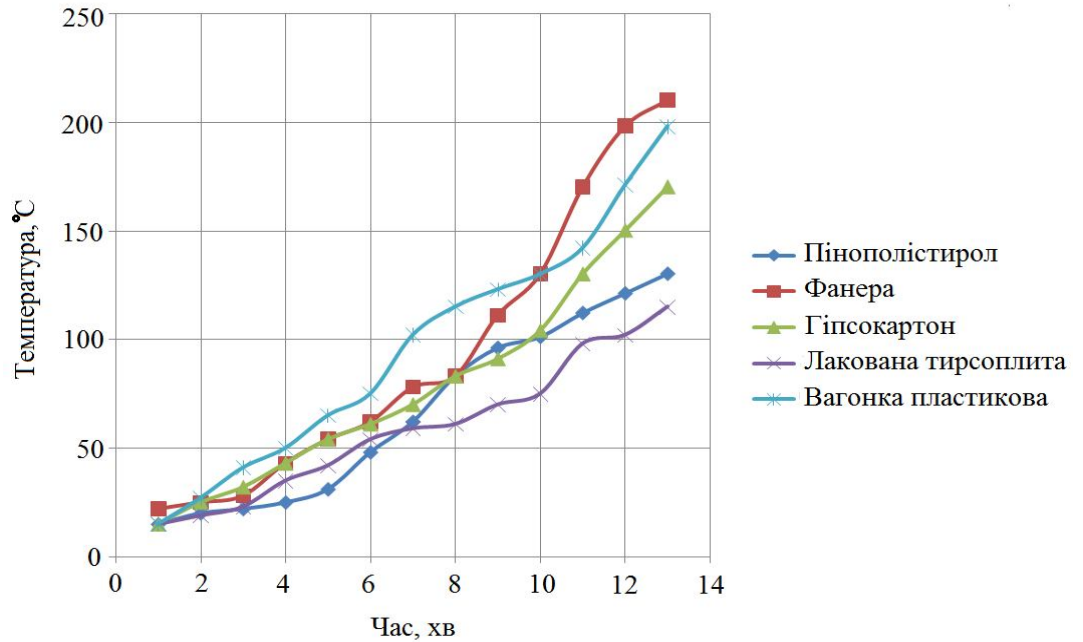


Рисунок 2 – Графічна залежність між температурою та часом протікання струму у провідниках

Рівняння теплового балансу провідника, як елемента внутрішньої електричної мережі, записується у вигляді

$$C\gamma V d\theta = RI^2 dt - \alpha F(\theta - \theta_c) dt, \quad (1)$$

де  $\gamma$  – питома густина матеріалу, з якого виготовлений провідник,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $C$  – теплоємність матеріалу провідника,  $\text{Дж}/\text{кг}\cdot\text{K}$ ;  $\theta$  – температура провідника,  $\text{K}$ ;  $\theta_c$  – температура навколишнього середовища,  $\text{K}$ ;  $F$  – площа поверхні провідника,  $\text{м}^2$ ;  $R$  – опір провідника,  $\text{Ом}$ ;  $I$  – величина сили струму,  $\text{А}$ ;  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі з поверхні,  $\text{Вт}/\text{м}^2\cdot\text{K}$ ;  $V$  – об'єм провідника,  $\text{м}^3$ .

Після перетворень, рівняння (1) набуває вигляду

$$\frac{d(\theta - \theta_c)}{dt} + \frac{2\alpha}{C\gamma r}(\theta - \theta_c) = \frac{\rho j^2}{C\gamma}. \quad (2)$$

Розв'язок цього рівняння записується:

$$(\theta - \theta_c)(t) = \frac{\rho j^2}{2\alpha} \left( 1 - e^{-\frac{2\alpha}{C\gamma r} t} \right). \quad (3)$$

Звідси остаточну температуру нагрівання провідника залежно від часу можна визначити з виразу

$$(\theta)(t) = \theta_c + \frac{\rho j^2}{2\alpha} \left( 1 - e^{-\frac{2\alpha}{C\gamma r} t} \right). \quad (4)$$

Час нагрівання провідника електричним струмом певної величини до заданої температури можна обчислити з виразу, який отриманий шляхом логарифмування виразу (4):

$$t = -\frac{Cr\gamma}{2\alpha} \ln \left( 1 - \frac{(\theta - \theta_c)2\alpha}{\rho r j^2} \right). \quad (5)$$

Використовуючи отримані моделі проведемо дослідження процесів нагрівання провідника струмом залежно від часу та для провідників різних поперечних перерізів.

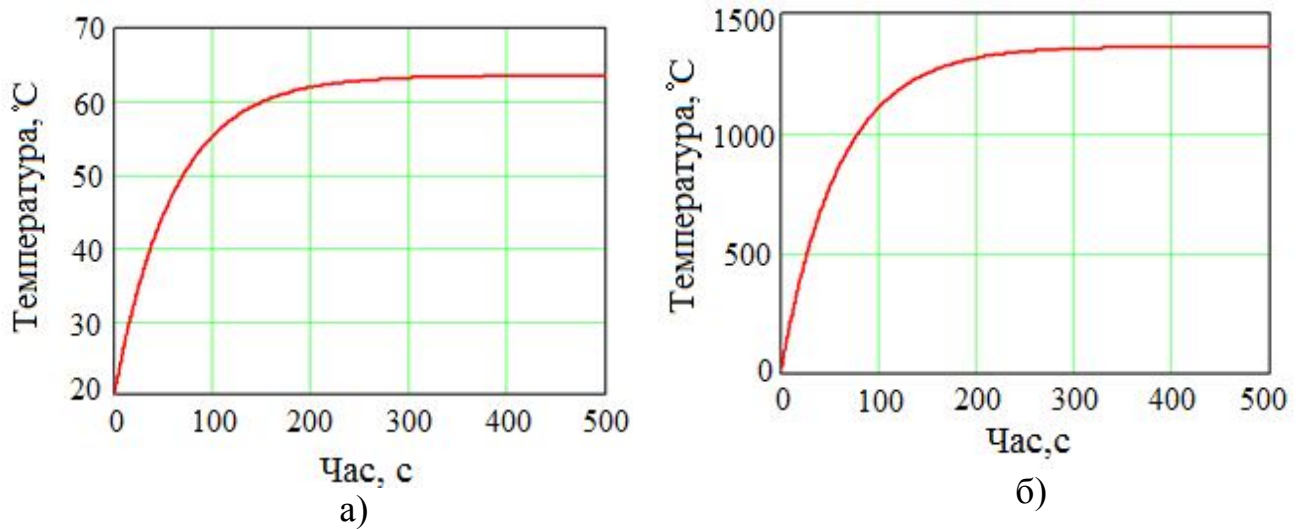


Рисунок 3 – Залежність часу нагрівання жили струмами:  
а) значення струму 18 А; б) значення струму 100 А

Як видно з рисунка 3а, під час протікання через провідник струму величиною 18 А, який є допустимим довготривалим для провідника з площею поперечного перерізу  $1,5 \text{ мм}^2$ , усталене значення температури дорівнює  $\theta = 63,493 \text{ °C}$ , що досягається після 400 с. Якщо струм перевищує допустимий на 30 %, тобто його величина дорівнює 25 А, то усталене значення температури настає через 400 с і призводить до підвищення температури жили на  $40 \text{ °C}$ , усталене значення температури дорівнює  $\theta = 103,86 \text{ °C}$ . Таке струмове навантаження є небезпечним, оскільки нагріває провідник до температури, при якій практично починає плавитися ПВХ-ізоляція. Саме такі режими є небезпечними тим, що внаслідок руйнування ізоляції виникає коротке замикання (КЗ), яке швидко нагріє провідник до пожежонебезпечної температури, що спричинить загоряння ізоляції.

У випадку протікання струму величиною 100 А (рис. 3 б), провідник перерізом  $1,5 \text{ мм}^2$  нагріється за час 10 с до температури займання ізоляційних матеріалів, яка дорівнює  $250\text{-}300 \text{ °C}$ . Якщо цей струм не вимкнути, то провідник нагріється до температури плавлення міді за 70 с.

Стала часу процесу нагрівання визначається коефіцієнтом  $\tau = \frac{Cr\gamma}{2\alpha}$ , усталення температури провідника настає через 4÷5 сталих часу, тобто приблизно через 400 с.

З метою вибору вставок апаратів для захисту елементів електричних мереж від струмового перевантаження та визначення часу їх спрацювання залежно від густини струму, необхідно розрахувати залежність часу нагрівання провідника до допустимої температури, яка ще не викличе загоряння. Для цього було використано вираз (5) з такими прийнятими умовами: допустима температура нагрівання жил, згідно з ПУЕ  $\theta = 65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; температура навколишнього середовища – приймаємо  $\theta_c = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; коефіцієнт тепловіддачі – залежить від способу прокладання провідника,  $\alpha = 10\div 15\text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ ; питома густина міді,  $\gamma = 8950\text{ кг/м}^3$ ;  $r$  – радіус провідника, який залежить від поперечного перерізу, м; питома теплоємність міді  $C = 389\text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ ;  $j$  – густина струму – залежить від рівня струмового навантаження,  $\text{А/мм}^2$ ; питомий опір міді,  $\rho = 1,75\cdot 10^{-8}\text{ Ом}\cdot\text{м}$ . Моделювалися режими нагрівання мідних провідників з поперечним перерізом  $1,5\text{ мм}^2$ ,  $2,5\text{ мм}^2$  та  $4\text{ мм}^2$ .

Розрахункові залежності часу нагрівання провідників від величини струму навантаження отримані з виразу (5) і показані на рис. 4.

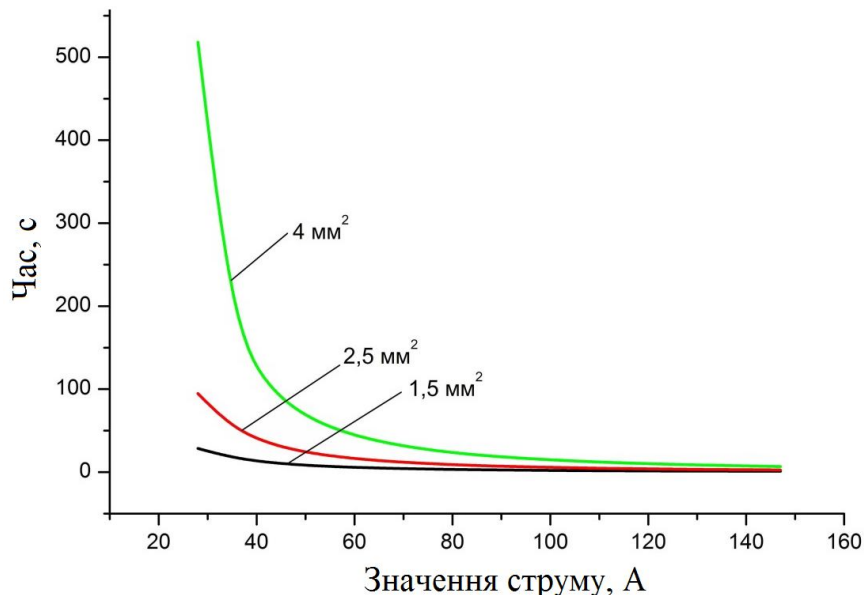


Рисунок 4 – Залежність часу нагрівання жили провідника від значення струму

Із наведених графічних залежностей видно, що у провіднику з площею поперечного перерізу  $1,5\text{ мм}^2$  при значенні струму 28 А нагрівання до допустимої температури відбувається за  $t = 28,638\text{ с}$ , при значенні струму 56 А – за  $t = 6,541\text{ с}$ , а при значенні струму 100 А – за  $t = 2,096\text{ с}$ ; для провідника з площею поперечного перерізу  $2,5\text{ мм}^2$  при значенні струму 28 А нагрівання до допустимої температури відбувається за  $t = 94,692\text{ с}$ , при значенні струму 56 А – за  $t = 18,779\text{ с}$  і при значенні струму 100 А – за  $t = 5,084\text{ с}$ , провідник з площею поперечного перерізу  $4\text{ мм}^2$  при значенні струму 28 А нагріється до допустимої температури за  $t = 517,972\text{ с}$ , при значенні струму 56 А – за  $t = 51,51\text{ с}$ , а при значенні струму 100 А – за  $t = 14,869\text{ с}$ . Згідно з нормативними документами, допустимі тривалі струми для КПВ із гумовою та ПВХ-ізоляцією з площею поперечного перерізу  $1,5$ ;  $2,5$  та  $4\text{ мм}^2$  – становлять 18; 25 та 32 А відповідно.

З метою виявлення першопричини виникнення пожежі, провідники нагріті електричним струмом до різних значень температури, піддавалися

мікроструктурному аналізу. В якості еталона було взято мікроструктуру провідника, який попередньо не нагрівався ні струмом, ні полум'ям.

Через усі взірці досліджуваних провідників, які попередньо нагрівалися до заданої температури протягом 15 хв, що забезпечувало їх рівномірне нагрівання, протікав струм КЗ, який вимикався через 1-2 с. Після ліквідації КЗ провідники вилучалися з нагрітого середовища відразу, через 20 хв та через 60 хв, що відповідало часу їх перебування в умовах осередку пожежі.

Аналіз мікроструктури матеріалу провідників, досліджених у зоні КЗ при температурі 19 °С, показав, що у зоні замикання утворюються пори з діаметром 50-200 мкм. Причому пори утворюються біля поверхні руйнування провідника у зоні максимального їх перегрівання.

Аналіз мікроструктури провідників, нагрітих до температури 250 °С, показав присутність ділянок різного кольору, зокрема голубого, що свідчить про окиснення яке відбувається не тільки на поверхні, але і у внутрішніх шарах матеріалу. Під час КЗ проходять утворення пор, але пори в основному утворюються в зоні окиснення або на границі розділу окиснений – не окиснений матеріал.

Слід відзначити, що після КЗ у провіднику, який попередньо нагрітий до температури 250 °С і витриманий протягом 20 хв, виявляється лита структура, характерною особливістю якої є кристаліти, які ростуть в напрямку, протилежному до напрямку відведення тепла. Причому після витримки 60 хв розмір цих кристалітів є більшим, ніж розмір кристалітів, утворених при витримці 20 хв (рис. 5).

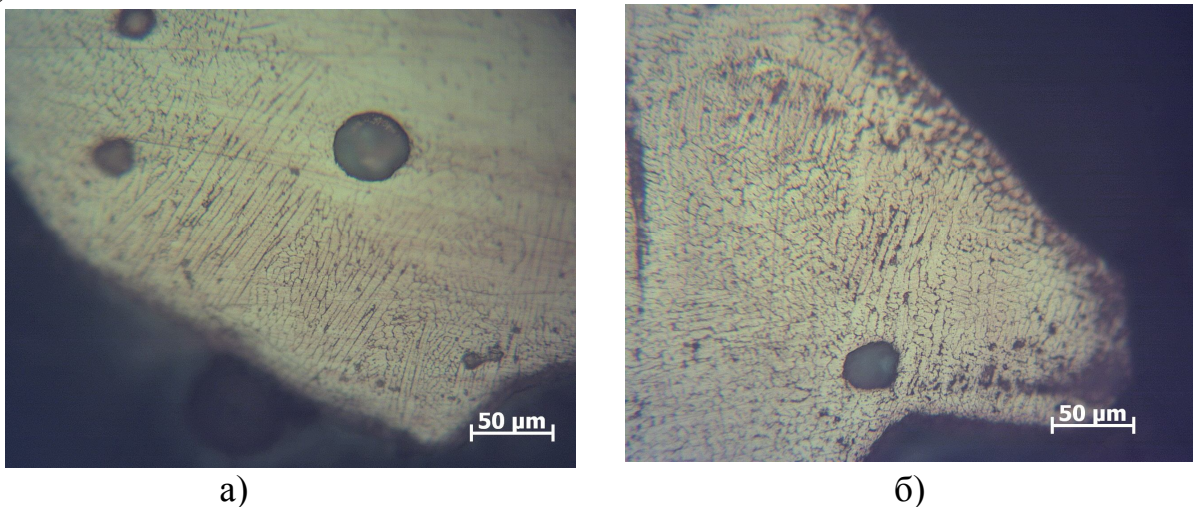


Рисунок 5 – Мікроструктура провідника, в якому КЗ відбулось при температурі 250 °С: а) з витримкою 20 хв; б) з витримкою 60 хв

При руйнуванні зони КЗ спостерігається вихід пор на зовнішню поверхню проводу; особливо це добре проявляється після витримки 60 хв при температурі 250 °С (рис. 6 а).

Дослідження зразків після КЗ при температурі 300 °С підтвердило отриманий результат. Як видно, кількість пор розміром від 10-200 мкм під час КЗ різко зростає причому більша їх кількість виходить на поверхню руйнування. Дослідження мікроструктури показує, що КЗ при температурі 300 °С супроводжується руйнуванням матеріалу в основному по границях зерен полікристалів міді (рис. 6 б).

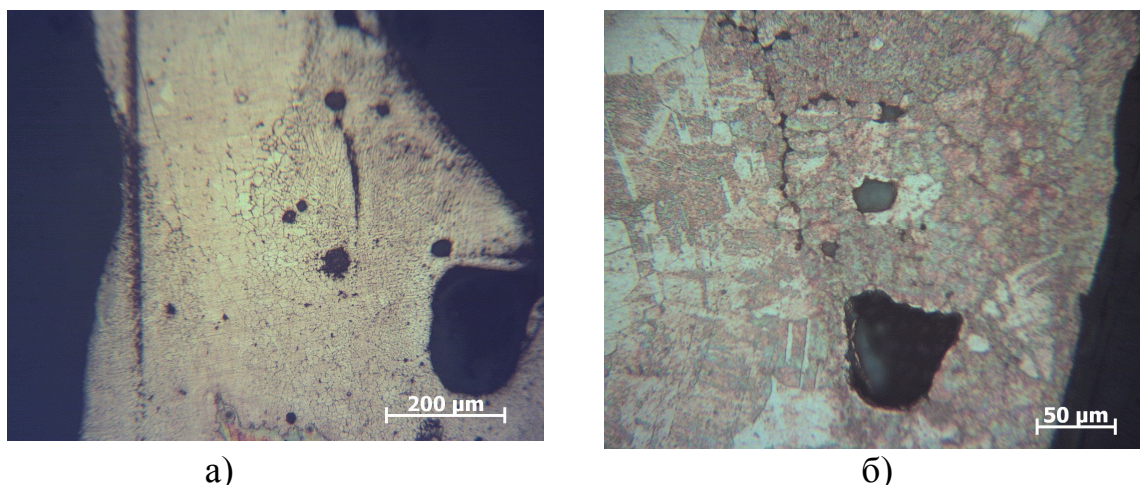


Рисунок 6 – Мікроструктура провідника, в якому КЗ відбулось при:  
а) температурі 250 °С з витримкою 60 хв; б) температурі 300 °С

Таким чином, розбризування металу під час КЗ пов'язане з тим, що руйнування відбувається по границі полікристалів міді.

Дослідження мікроструктури провідників при температурі 400 °С показало, що у зоні КЗ також утворюється лита структура. Слід відмітити, що під час руйнування провідників міжзеренних пошкоджень і тріщин не спостерігається також не виявлено розбризування металу. Розмір дендритів після витримки 60 хв є більшим, ніж при витримці 20 хв, але формування міжзеренних пошкоджень і тріщин не спостерігається, відсутність розбризування при температурі 400 °С пов'язана з тим, що руйнування під час КЗ відбувається не по границях зерен, а у зоні формування найбільших термічних напружень, причому тріщини проходять між пустотами, які утворюються під час оплавлення матеріалу (рис. 7 а).

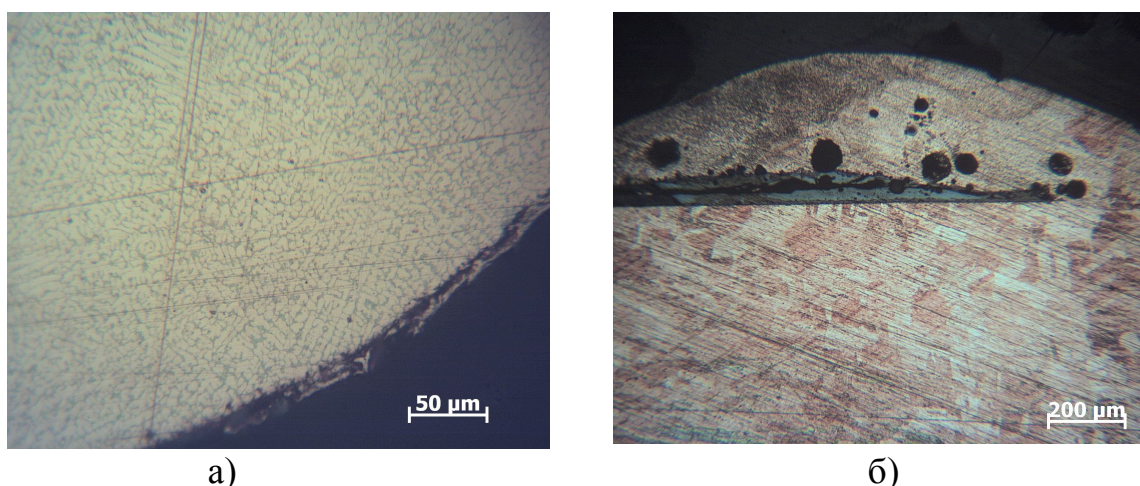


Рисунок 7 – Мікроструктура провідника, в якому КЗ відбулось при:  
а) температурі 400 °С і витримці 60 хв; б) температурі 600 °С і витримці 60 хв

Дослідження зразків після КЗ, нагрітих до температури 600 °С, показали утворення пор, а також формування тріщин в зонах найбільших термічних напружень, причому тріщини в основному проходять по порах максимального розміру (рис. 7 б).

Нагрівання до температури 800 °С супроводжується значним окисненням металу, про що свідчить наявність складової, що містить  $\text{Cu}_2\text{O}$ .

Утворення тріщин відбувається по великих порах в зоні термічних напружень на границях поділу розплавлений – не розплавлений метал. Слід відмітити, що під час КЗ розбризкування металу не відбувається, але відбувається його течіння. Зона формування тріщин є окисненою, про що свідчить її колір, який суттєво відрізняється від кольору основного металу.

Витримка 20 хв після КЗ призводить до суттєвого окиснення зони розплаву металу, а також зони нерозплавленого металу, про що свідчить суттєва зміна кольору цих зон.

Дослідження зразків після КЗ при нагріванні до температури 950 °С вказує на формування зони розплавленого металу, яка суттєво відрізняється від зони основного металу (рис. 8 а).

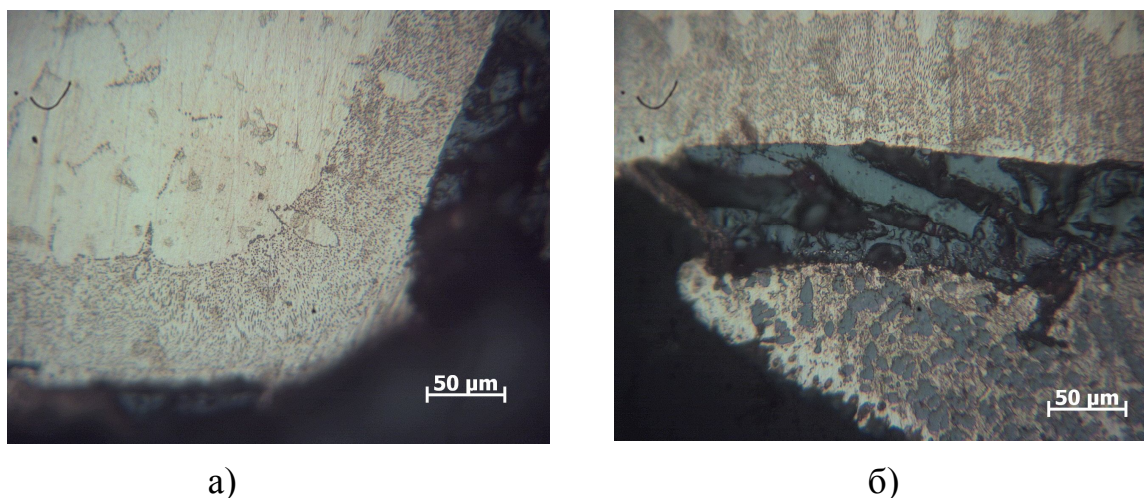


Рисунок 8 – Мікроструктура провідника у якому КЗ відбулось при температурі 950 °С

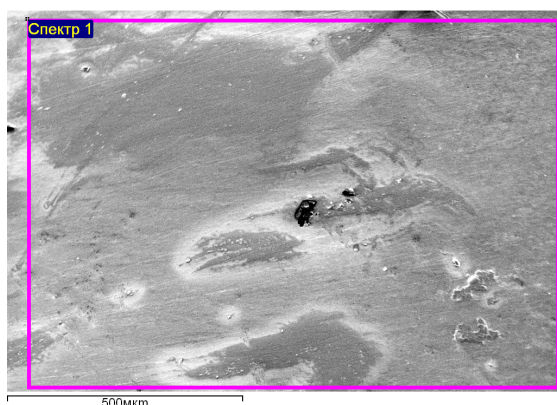
В зоні литого металу спостерігається виділення евтектики  $\text{Cu-Cu}_2\text{O}$ , яка простежується по всій довжині поверхні розплавленого металу.

Присутність пор виявляється тільки в окремих місцях, а тріщини спостерігаються тільки в місцях протікання металу в зоні КЗ.

Характер руйнувань вказує на те, що в зоні КЗ утворюються ділянки, збагачені евтектикою, а також ділянки, хімічний склад яких відрізняється від евтектичного, тобто в зонах, що суттєво відрізняються від евтектичного складу, утворюються пори, а в зонах евтектик формуються усадкові тріщини (рис. 8 б).

Збільшення часу витримки при температурі 950 °С до 20 хв супроводжується збільшенням товщини шару на поверхні окисненого матеріалу.

Локальні рентгеноспектральні дослідження дають змогу виявити зміну хімічного складу провідників під час КЗ. Аналіз спектрів, отриманих на електронному мікроскопі ZEISS EVO 40XVP з системою рентгенівського мікроаналізу INCA Energy, показав, що у провідниках, в яких не створювались струмові режими, на поверхні виявляють два елементи – основний  $\text{Cu}$  ( $\omega(\text{Cu}) = 97,86\%$ ) і Оксиген у кількості ( $\omega(\text{O}) = 2,14\%$ ) (рис. 9).



| Елемент | Масовий (ω), % | Атомний (γ), % |
|---------|----------------|----------------|
| O K     | 2.14           | 7.98           |
| Cu L    | 97.86          | 92.02          |
| Разом   | 100.00         |                |

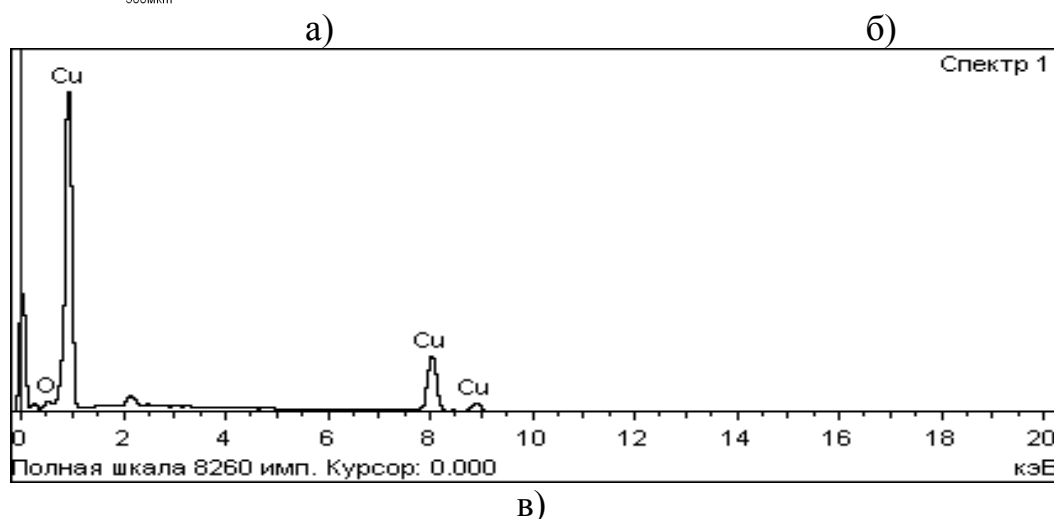


Рисунок 9 – Ділянка провідника (а), вміст елементів (б) та спектр (в) еталона

Збільшення вмісту Оксигену після охолодження у воді пов'язане з дисоціацією води і насиченням атомами кисню провідника, який охолоджується. Можливість дисоціації води пов'язана із характером руйнування матеріалу провідника під час охолодження, яке супроводжується утворенням флокенів (рис. 10).

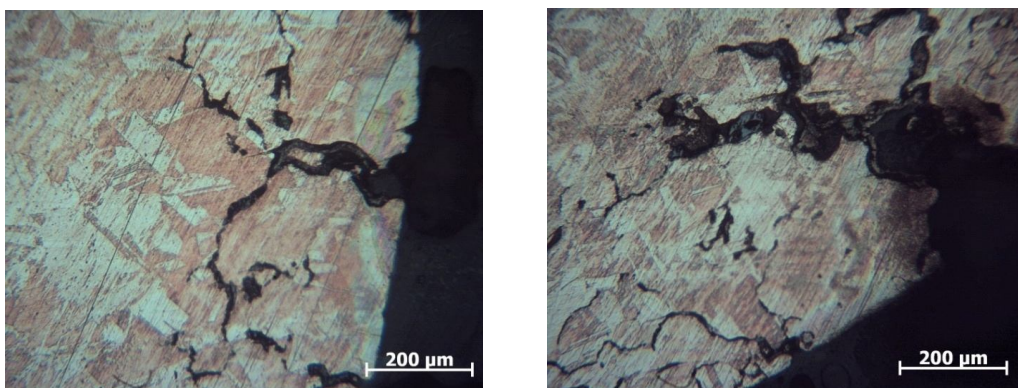
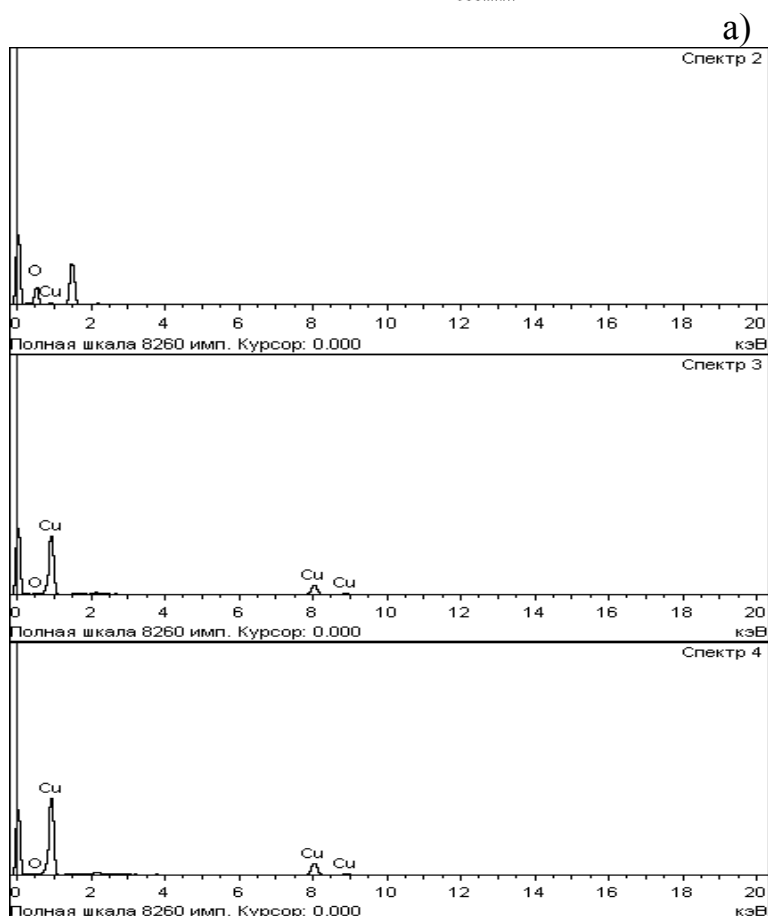
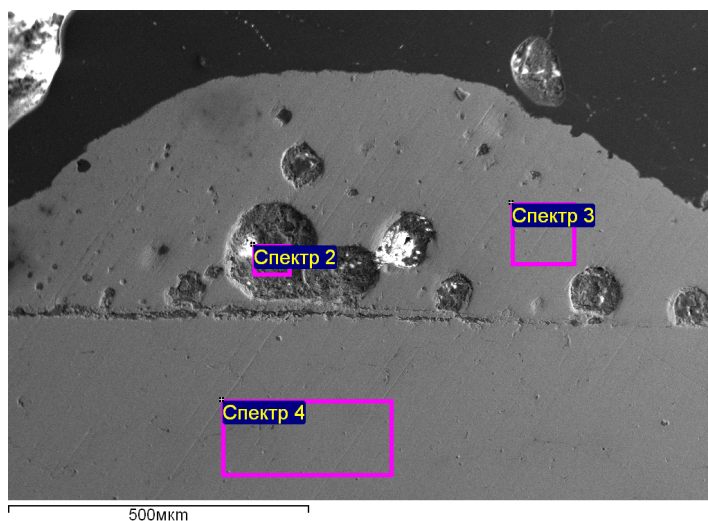


Рисунок 10 – Мікроструктура провідника у якому КЗ відбулось при температурі 600 °С і охолодження у воді

Суттєве зростання кількості Оксигену у зоні раковин після охолодження у воді  $\omega(O) = 84,25\%$  можливо пов'язане із дисоціацією води (рис.11 б, спектр 2).

Дослідження зразків після КЗ при температурі 600 °С і охолодження у воді показало, що порівняно з охолодженням на повітрі вміст Оксигену в зоні основного металу збільшується і становить  $\omega(O) = 1,02\%$  (рис.11 б, спектр 4).



| Елемент | Масовий (ω), % | Атомний (χ), % |
|---------|----------------|----------------|
| О К     | 84.25          | 95.50          |
| Сu L    | 15.75          | 4.50           |
| Разом   | 100.00         |                |

| Елемент | Масовий (ω), % | Атомний (χ), % |
|---------|----------------|----------------|
| О К     | 2.71           | 9.97           |
| Сu L    | 97.29          | 90.03          |
| Разом   | 100.00         |                |

| Елемент | Масовий (ω), % | Атомний (χ), % |
|---------|----------------|----------------|
| О К     | 1.02           | 3.94           |
| Сu L    | 98.98          | 96.06          |
| Разом   | 100.00         |                |

б)

Рисунок 11 – Ділянка провідника (а), спектри та вміст елементів (б), витриманого до КЗ 15 хв при 600 °С і потім охолодженого у воді

У четвертому розділі проведений аналіз методів дослідження, причетності провідників внутрішніх електромереж до виникнення пожежі показує, що на сьогодні немає універсального методу чи критеріїв, які б дали змогу зробити остаточний висновок. Існуюча методика проведення пожежно-технічного обстеження, яка використовується для експертизи, не враховує сучасних підходів до проектування та побудови внутрішніх електричних мереж, зокрема у розумінні розподілу мереж на освітлювальні та силові, а також не враховує використання сучасних оздоблювальних та ізоляційних матеріалів. Під час проведення досліджень



встановлено, що метод рентгенофазового аналізу дає змогу встановити вміст фази за дифрактограмами лише за наявності їх в кількості більше 5 %, метод мікроструктурного аналізу дає змогу визначити елементний вміст у досліджуваних провідниках при кількості 2-3 %, а метод локального рентгеноспектрального аналізу дає змогу визначити вміст елементів до 1 %. Якщо неможливо отримати ознаки причетності внутрішніх електромереж до виникнення пожежі методом рентгенофазового та мікроструктурного аналізів, то рекомендується застосувати метод локального рентгеноспектрального аналізу, який потребує достатньо складної апаратури, але дає змогу отримати кількісні характеристики вмісту елементів в структурі мідних провідників для різних комбінацій нагрівання.

Дослідження елементів внутрішніх електричних мереж на предмет причетності до виникнення пожеж показує, що у багатьох випадках достатнім може бути метод металографічного аналізу, який дає відповіді з достатньою точністю, однак найефективнішим є метод локального рентгеноспектрального аналізу, який забезпечує високу ймовірність завдяки кількісним характеристикам.

На основі результатів досліджень рекомендується вдосконалена методика проведення експертизи елементів внутрішніх електричних мереж житлових та громадських будівель з метою виявлення першопричини виникнення пожежі. Вона має такі етапи:

I етап – Зовнішній огляд об'єкта, під час якого необхідно попередньо встановити місце виникнення пожежі, найвищу температуру, напрямок розповсюдження пожежі, наявність елементів електричних мереж, що дає змогу з певною ймовірністю змодельовати причину та характер пожежі.

II етап – Визначення ділянок проводів електромереж для подальших досліджень. Встановлюється схема внутрішніх електромереж, марка кабельно-провідникового виробу, чи є ділянки неушкоджених провідників, місця можливого виникнення КЗ, провідники з пошкодженою ізоляцією та слідами нагрівання.

III етап – Відбір взірців елементів внутрішніх електромереж, полягає в тому, що при вилученні взірці нумеруються, упаковуються та фіксується місце, з якого вони вилучені. При вилученні, пакуванні і транспортуванні взірців необхідно уникати додаткових скручувань, згинів та ушкоджень, які можуть внести зміни у мікроструктуру при дослідженні.

IV етап – Систематизація та відбір взірців для виготовлення шліфів. В якості еталона відбирається ділянка провідника, яка не була у середовищі пожежі і не піддавалась впливу полум'я. Особливу увагу слід звертати на взірці зі слідами оплавлень. Провідники з явними ознаками їх перебування в умовах пожежі піддаються макроструктурним дослідженням, в результаті яких формуються попередні гіпотези щодо їх причетності, які уточнюються на етапі дослідження мікроструктури шліфів. На цьому етапі також проводять вибір методів та апаратів дослідження.

V етап – Приготування шліфів. Процес такий: ділянка провідника із оплавленням розміром 7-12 мм розміщується в металевій оправці і заливається швидкотверднучою пластмасою, епоксидною смолою тощо. Після застигання зразки шліфують на обертовому колі з абразивним папером різної зернистості. При зміні зернистості абразивного паперу, змінюють напрям шліфування на 90°. Після

шліфування зразки полірують на обертовому колі з натягнутою тканиною на яку наносилися дрібнозернисті суспензії окису хрому, розведеного у воді. Завершальною стадією оброблення шліфа є ручне полірування на цупкому папері із використанням алмазної пасти. Після полірування шліф промивається проточною водою, просушується і протирається ватою, змоченою у спирті. Для виявлення змін мікроструктури доцільно проводити дослідження у повздовжніх шліфах.

VI етап – Вибір травника. Після підготовки якісної поверхні шліфа, він піддається травленню. Травлення здійснюється за допомогою спеціального реактиву ( $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$  – 8 г,  $\text{H}_2\text{O}$  – 100 мл), який дає чітко виражену мікроструктуру, але потребує більших затрат часу у процесі травлення та високої кваліфікації дослідника, тоді як використання реактиву ( $\text{FeCl}_3$  – 25 г,  $\text{HCl}$  – 50 мл,  $\text{H}_2\text{O}$  – 12 мл), призводить до слабшого вираження особливостей мікроструктури, хоча процес травлення відбувається швидше.

VII етап – Дослідження мікроструктури. Після травлення шліфи вивчаються на оптичному мікроскопі при різних збільшеннях; за допомогою цифрової камери відбувається фільмування мікроструктури досліджуваного взірця. Результати слід систематизувати з точки зору змін мікроструктури (форма і розміри зерен, утворення міжзеренних тріщин, раковин та пустот), які відбуваються під впливом нагрівання полум'ям та струмом.

VIII етап – У разі недостатньої доказовості за результатами мікроструктурного аналізу шліфи доцільно проаналізувати методом локального рентгеноспектрального аналізу, який дає кількісні значення вмісту елементів. На основі порівняння характеристик мікроструктур еталонного взірця з іншими шліфами можна з достатньо високою достовірністю встановити першопричину виникнення пожеж.

## ВИСНОВКИ

У дисертації набули подальшого розвитку методологічні засади виявлення причетності внутрішніх електричних мереж до виникнення пожеж в житлових та громадських будівлях шляхом виявлення особливостей зміни мікроструктури мідних провідників, які побували в умовах пожежі, з використанням сучасних фізико-хімічних методів.

Основні теоретичні та практичні результати такі:

1. Аналіз статистичних даних показує, що 80 % всіх пожеж виникає в житловому секторі; з них 25 % спричинені джерелами електротехнічного походження, більшість з яких викликані внутрішніми електричними мережами. Однак детальний аналіз висновків про причини виникнення пожеж у багатьох випадках виявив, що вони є недостатньо обґрунтованими. Це сприяло формуванню задачі пошуку характерних ознак, які дають змогу обмежити кількість предметних доказів та з більшою об'єктивністю встановити першопричину.

2. На основі методу планування наукових експериментів запропоновано методику проведення експериментальних досліджень кабельно-провідникових виробів (КПВ), які побували у середовищі пожежі, що дало змогу сформулювати умови та напрямки проведення досліджень, зокрема вибрати температурні режими, параметри КПВ та послідовність експериментів, а також вибрати і систематизувати методи аналізу мікроструктур мідних провідників.

3. Показано, що один з найпоширеніших оздоблювальних елементів, які використовуються у житлових та громадських будівлях – пінополістирол загоряється при температурі його поверхні  $130\text{ }^{\circ}\text{C}$  і стійко підтримує горіння. Загоряння відбувається від нагрітого електричним струмом провідника перерізом  $1,5\text{ мм}^2$ , прокладеного на поверхні пінополістиролу. Це необхідно враховувати під час проектування та монтажу внутрішніх електромереж. Разом з тим, решта досліджуваних матеріалів від нагрітого струмом провідника не загорялась.

4. У зв'язку з тим, що у реальних умовах досліджувати теплові режими внутрішніх електромереж є надзвичайно складно, у роботі удосконалено математичну модель, яка базується на законах електротехніки та термодинаміки і описує динамічні процеси нагрівання провідників електричним струмом, величина якого може змінюватись в часі. Похибка, яка виникає під час моделювання, не перевищує  $12\%$  і залежить від прийнятих припущень. Шляхом математичного моделювання встановлено, що допустимим струмом  $18\text{ А}$  провід з площею поперечного перерізу  $1,5\text{ мм}^2$  нагрівається до  $63,493\text{ }^{\circ}\text{C}$ , яка є близькою до гранично допустимої за умови, що температура навколишнього середовища становить  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Проте виникають ситуації коли температура зовнішнього середовища перевищує  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  і може досягати навіть  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , тому струм  $18\text{ А}$ , якому відповідає густина струму  $12\text{ А/мм}^2$ , можна вважати завищеним. Запропонована математична модель дає змогу розрахувати час нагрівання провідника до граничнодопустимої температури, залежно від значення струму у провіднику, площі поперечного перерізу, питомого опору, а також коефіцієнта тепловіддачі, значення якого встановлено експериментальним шляхом, та дає змогу вибирати на основі розрахунків апарати захисту.

5. Аналіз поперечних та повздовжніх шліфів взірців мідних провідників внутрішніх електричних мереж, попередньо нагрітих полум'ям з подальшим нагріванням струмами КЗ, з використанням методу рентгенофазового аналізу показав, що, починаючи від температури попереднього нагрівання  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ , на дифрактограмах взірців появляється оксид міді (I), причому його вміст тим більший, чим вища температура попереднього нагрівання. На цій основі можна встановити, що першопричиною пожежі не є нагрітий струмом провідник.

6. Метод локального рентгеноспектрального аналізу поперечних і повздовжніх шліфів мідних провідників внутрішніх електричних мереж показав, що вміст Оксигену в структурі провідника при його початковій температурі  $19\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в якому протікав струм КЗ, досяг  $3,05\%$ , а при початковій температурі  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при якій відбулось КЗ, його вміст зростає до  $4,98\%$ . Подальше підвищення температури навколишнього середовища, в якому знаходився провідник, супроводжується зменшенням вмісту Оксигену, який досягає мінімуму при температурі  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  і знаходиться в межах від  $0,55$  до  $1,02\%$ . Основною причиною зменшення Оксигену в структурі провідника є фазовий перехід  $\text{Cu}_2\text{O}$  в  $\text{CuO}$ . На інтервалі температур від  $800 - 950\text{ }^{\circ}\text{C}$  після КЗ вміст Оксигену зростає і досягає  $6,51\%$  при температурі  $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Це підтверджує те, що КЗ не було першопричиною загоряння.

7. Шляхом експериментальних досліджень мікроструктури виявлено, що при початковій температурі  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  і подальшому короткому замиканні мідного провідника формується дендритна структура, що спростовує твердження про те, що

дендритна структура є стійкою ознакою первинності КЗ, яка чіткіше виражена у випадку травлення реактивом ( $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$  – 8 г,  $\text{H}_2\text{O}$  – 100 мл), що потребує більших затрат часу у процесі травлення та високої кваліфікації дослідника, тоді як використання реактиву ( $\text{FeCl}_3$  – 25 г,  $\text{HCl}$  – 50 мл,  $\text{H}_2\text{O}$  – 12 мл), призводить до слабшого вираження особливостей мікроструктури, хоча процес травлення відбувається швидше.

## ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Гудим В. І. Аналіз мікроструктури мідних кабельно-провідникових виробів електричних мереж, які перебували у середовищі пожежі / В. І. Гудим, М. Карбонічек, О. Б. Назаровець // Пожежна безпека : Зб. наук. пр. – Л. : ЛДУ БЖД, 2012. – № 20. – С. 144–149.

2. Гудим В. І. Особливості мікроструктури мідних дротів, нагрітих електричним струмом і відкритим полум'ям / В. І. Гудим, О. Б. Назаровець, О. А. Кузін // Пожежна безпека : Зб. наук. пр. – Л. : ЛДУ БЖД, 2012. – № 22. – С. 55–60.

3. Гудым В. И. Исследование условий возгорания отделочных материалов от электрических проводников нагретых током / В. И. Гудым, О. Б. Назаровец, Н. О. Ференц // Вестник Кокшетауского технического института Министерства по чрезвычайным ситуациям республики Казахстан : Сб. науч. тр. – К. : КТИ КЧС МВД РК, 2015. – № 1 (17). – С. 37–45.

4. Гаврилюк А. Ф. Дослідження режимів нагрівання провідників бортових електромереж автотранспортних засобів струмами короткого замикання / А. Ф. Гаврилюк, В. І. Гудим, О. Б. Назаровець // Науковий Вісник НЛТУ : Зб. наук. пр. – Л. : РВВ НЛТУ України, 2015. – № 25.4 – С. 58–66.

5. Гудим В. І. Математичне моделювання процесів нагрівання провідників внутрішніх електричних мереж житлових та громадських будівель / В. І. Гудим, Б. М. Юрків, О. Б. Назаровець // Пожежна безпека : Зб. наук. пр. – Л. : ЛДУ БЖД, 2015. – № 26. – С. 59–64.

6. Nazarovets O. V. Features of changing the structure of copper conductors in terms of the current complex and high temperature / Nazarovets O. V., Gudym V. I., Kuzin O. A. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, III(6), Issue : 54, 2015. P. - 47–51.

7. Гудим В. І. Аналіз існуючої бази методів дослідження причетності аварійних режимів електромережі до виникнення пожежі / В. І. Гудим, О. Б. Назаровець // Техногенна безпека: теорія, практика, інновації : Зб. тез II Міжнар. наук.-практ. конф. – Л. : ЛДУ БЖД, 2011. – С. 67–69.

8. Гудим В. І. Дослідження умов загорянь оздоблювальних будівельних матеріалів від електричних мереж / В. І. Гудим, О. Б. Назаровець // Пожежна безпека – 2011 : матер. X Міжнар. наук.-практ. конф. (17–18 листопада 2011 р.). – Харків : НУЦЗ України, 2011. – С. 93.

9. Гудим В. І. Аналіз структури мідних провідників електричних мереж з метою визначення їх причетності до виникнення пожежі / В. І. Гудим, О. Б. Назаровець // Сучасні проблеми систем електропостачання промислових та

побутових об'єктів : Зб. наук. пр. I Всеукр. наук.-техн. конф. викладачів, аспірантів і студентів, (18–19 жовтня 2012 р.). – Донецьк : ДНТУ, 2012. – С. 58–59.

10. Гудим В. І. Мікроструктурні особливості мідних проводів електричних мереж в залежності від джерела нагрівання / В. І. Гудим, О. Б. Назаровець, В. Л. Петровський // Актуальні проблеми технічних та соціально-гуманітарних наук у забезпеченні діяльності служби цивільного захисту : матер. Міжн. наук.-практ. конф., (4–5 квітня 2013 р.). – Черкаси : АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2013. – С. 37-39.

11. Гудим В. І. Особливості формування методу виявлення причин загорянь від електромереж / В. І. Гудим, О. Б. Назаровець // Сучасні проблеми систем електропостачання промислових та побутових об'єктів : Зб. наук. пр. I Міжнар. наук.-техн. конф. викладачів, аспірантів і студентів, (17–18 жовтня 2013 р.). – Донецьк : ДНТУ, 2013. – С. 31–33.

### АНОТАЦІЯ

Назаровець О. Б. Визначення причин виникнення пожеж в житлових та громадських будівлях від внутрішніх електромереж. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека. – Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів, 2015.

Дисертація присвячена розв'язанню важливої науково-технічної задачі – розкриття залежностей впливу температури нагрівання мідних провідників внутрішніх електромереж електричним струмом на структуру міді з урахуванням різної початкової температури. Встановлено кількісні залежності вмісту кисню, розмірів зерен мікроструктури, величини тріщин і раковин від температури нагрівання провідників внутрішніх електромереж електричним струмом з попереднім нагріванням та без нього, що дало змогу на основі аналізу структур більш точно визначити причетність електричних режимів (перевантаження, короткого замикання) до виникнення пожежі. Крім того, аналіз структур дасть змогу точніше виявити першопричини виникнення пожеж в житлових та громадських будівлях. На цій основі вдосконалено методику пожежно-технічної експертизи, що забезпечить об'єктивну статистику пожеж і розробку заходів щодо їх запобігання.

**Ключові слова:** коротке замикання, внутрішні електромережі, мідні провідники, ізоляційні матеріали, густина струму, процеси нагрівання провідників, оздоблювальні матеріали, довготривалі перевантаження, мікроструктура, спектри.

### АННОТАЦИЯ

Назаровец О. Б. Определение причин возникновения пожаров в жилых и общественных зданиях от внутренних электросетей. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 21.06.02 – пожарная безопасность. – Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности, Львов, 2015.

Диссертация посвящена решению важной научно-технической задачи – раскрытие зависимостей влияния температуры нагрева проводников внутренних электросетей электрическим током на структуру с учетом различной начальной температуры. Установлены количественные зависимости содержания кислорода,

размеров зерен микроструктуры, величины трещин и раковин от температуры нагрева проводников внутренних электросетей электрическим током с предварительным нагревом и без него, что позволило на основе анализа структур более точно определить причастность электрических режимов (перегрузки, короткого замыкания) к возникновению пожара. Кроме того, анализ структур позволит точнее выявлять первопричины возникновения пожаров в жилых и общественных зданиях. На этом основании усовершенствована методика пожарно-технической экспертизы, которая обеспечит объективную статистику пожаров и разработку мероприятий по их предотвращению.

**Ключевые слова:** короткое замыкание, внутренние электросети, медные проводники, изоляционные материалы, плотность тока, процессы нагрева проводников, отделочные материалы, долговременные перегрузки, микроструктура, спектры.

### ABSTRACT

Nazarovets O. B. Determining the causes of fires in residential and public buildings from internal electric networks. – Manuscript.

Dissertation for the scientific degree of candidate of technical sciences, specialty 21.06.02 – Fire Safety.–Lviv State University of Life Safety, Lviv, 2015.

The dissertation is devoted to solve important scientific and technical problem i.e. disclosure of changes in microstructure features of copper wires of internal electric networks of residential and public buildings to the value of the initial temperature at which there was a short circuit. The shortcomings of current methods for determining the causes of fires in residential and public buildings from internal electric networks were analyzed. The investigation of the ignition of decoration elements of residential and public buildings from heated wires by current of internal electric networks was examined and the parameters of their ignition were set.

By analyzing the mathematical model it was revealed that allowable current 18A to a copper wire with a cross section of 1,5 mm<sup>2</sup> is inflated because it does not take into account the temperature of the environment where it is laid.

It was justified the intervals of temperature values, which change the microstructure of the material of electric wires based on the analysis of processes of recrystallization of copper, which is clearly seen in longitudinal thin sections.

It is established quantitative dependence of support of oxygen, grain size of microstructure, size of cracks and cavities from the heating temperature of wires of internal electric networks by electrical current with the previous heating and without it, which made it possible to determine more accurately the involvement of electric modes (overload, short circuit) to fire. Based on the results of researches it is recommended the improved methods of examination of elements of internal electric networks of residential and public buildings in order to establish the root causes of fire that will provide objective statistics of fires and the development of measures to prevent them.

**Keywords:** short circuit, internal electric networks, copper wires, insulation materials, current density, process of the wires heating, decoration materials, long-term overloads, microstructure, spectra.

---

Підписано до друку 25.11.2015 р.  
Друк різнограф.  
Наклад 100 прим.

Формат 60 x 80 1/16  
Ум. друк. арк. 0,9  
Зам. № 14/ 2015

---