

Державна служба України з надзвичайних ситуацій

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

*На правах рукопису*

НАЗАРОВЕЦЬ ОЛЕГ БОГДАНОВИЧ

*УДК 614.841.2*

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

*21.06.02 – пожежна безпека*

Дисертація на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Науковий керівник:  
доктор технічних наук, професор  
Гудим Василь Ілліч

Львів – 2015

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>6</b>
<b>РОЗДІЛ 1</b>	
<b>АНАЛІЗ СТАНУ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ЖИТЛОВИХ ТА ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ.....</b>	<b>13</b>
1.1. Огляд статистики пожеж у житлових та громадських будівлях.....	13
1.2. Аналіз причин виникнення пожеж від внутрішніх електричних мереж житлових та громадських будівель.....	17
1.3. Вимоги нормативних документів щодо структури та конструктивного виконання внутрішніх електричних мереж житлових та громадських будівель.....	20
1.4. Технічні заходи та вимоги, спрямовані на підвищення пожежної безпеки внутрішніх електричних мереж.....	25
1.5. Висновки до розділу.....	30
<b>РОЗДІЛ 2</b>	
<b>МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ВНУТРІШНІХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ПІСЛЯ ПОЖЕЖ.....</b>	<b>31</b>
2.1. Загальні положення та основні терміни.....	31
2.2. Характеристика та параметри кабельно-провідникових виробів, які застосовуються для побудови внутрішніх електричних мереж житлових та громадських будівель.....	32
2.3. Особливості процесів нагрівання провідників електричних мереж електричним струмом та полум'ям.....	41
2.4. Вибір режимів експериментальних досліджень для виявлення причетності внутрішніх електромереж до виникнення пожежі..	45
2.5. Методи експериментальних досліджень провідників внутрішніх електричних мереж житлових та громадських	

будівель.....	56
2.5.1. Метод металографічного аналізу провідників, нагрітих електричним струмом та полум'ям .....	57
2.5.2. Метод рентгеноструктурного фазового аналізу провідників, нагрітих електричним струмом та полум'ям.....	60
2.5.3. Метод локального рентгеноспектрального аналізу Провідників, нагрітих електричним струмом та полум'ям .....	61
2.6. Висновки до розділу.....	65
<b>РОЗДІЛ 3</b>	
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУР ПРОВІДНИКІВ ВНУТРІШНІХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ, НАГРІТИХ ЕЛЕКТРИЧНИМ СТРУМОМ ТА ПОЛУМ'ЯМ.....</b>	
3.1. Загальні положення.....	67
3.2. Розробка математичної моделі динаміки нагрівання провідників внутрішніх електричних мереж.....	68
3.3. Чисельний аналіз процесів нагрівання провідників внутрішніх електричних мереж.....	74
3.4. Макро- і мікроструктурні дослідження провідників внутрішніх електричних мереж.....	77
3.5. Аналіз провідників внутрішніх електричних мереж шляхом проведення рентгеноспектральних і рентгеноструктурних досліджень.....	89
3.6. Висновки до розділу.....	107
<b>РОЗДІЛ 4</b>	
<b>ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДУ ВИЯВЛЕННЯ ПРИЧЕТНОСТІ ВНУТРІШНІХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ ДО ВИНИКНЕННЯ ПОЖЕЖІ.....</b>	
4.1. Характеристика недоліків чинної методики пожежно- технічної експертизи провідників зі слідами оплавлень.....	110
4.2. Порівняльний аналіз результатів фізичних методів	

дослідження мідних провідників.....	112
4.3. Обґрунтування вибору оптимального методу встановлення причин виникнення пожеж від внутрішніх електричних мереж.....	114
4.4. Розробка методики виконання досліджень причетності внутрішніх електричних мереж до виникнення пожеж.....	124
4.5. Висновки до розділу.....	127
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>129</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>132</b>
<b>ДОДАТКИ</b>	



**ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ**

<b>АВ</b>	автоматичний вимикач
<b>АЗ</b>	апарат захисту
<b>ВКЗ</b>	вторинне коротке замикання (виникло в результаті розвитку пожежі)
<b>ВПО</b>	великі перехідні опори
<b>КЗ</b>	коротке замикання
<b>КПВ</b>	кабельно-провідникові вироби
<b>ПВХ</b>	полівінілхлорид
<b>ПКЗ</b>	первинне коротке замикання
<b>ППБУ</b>	правила пожежної безпеки України
<b>ПУЕ</b>	правила улаштування електроустановок
<b>L-провідник</b>	фазний провідник
<b>N-провідник</b>	нейтральний провідник
$\omega$	масова частка елемента у сполуці, %
$\chi$	мольна частка елемента у сполуці, %

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Згідно з масивом карток 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, з яких 90 % у житловому секторі. Серед основних причин виникнення пожеж майже 25 % залежно від року є порушення правил пожежної безпеки при влаштуванні та експлуатації електроустановок [1].

Використання електричної енергії значно полегшило повсякденне життя людей на планеті. Саме електричний струм люди почали використовувати як гідну альтернативу вогню, дослідивши таку властивість струму, як нагрівання провідника.

Однак закономірне зростання кількості і потужності споживачів електроенергії призводить до перевантаження електричних мереж, особливо у будинках старої побудови, що призводить до швидкого старіння ізоляції, її руйнування і, відповідно, скороченню терміну експлуатації проводів.

На превеликий жаль багато питань, пов'язаних з пожежною небезпекою житлових та громадських будівель поки що є технологічно не врегульованими, що також потребує свого вирішення, наприклад, на сьогодні є непереконливим те, що біля 25 % пожеж в дійсності виникають від електроустановок. Слід чітко розмежувати джерела запалювання від електромагнітних явищ і процесів, які виникають під час нормальної роботи електроустановок, та електрообладнання, параметри якого можуть досягнути пожежонебезпечного рівня лише під час його аварійної роботи. Дуже часто дійсний стан справ, тобто підпал чи інші джерела запалювання, підмінюється електричними джерелами запалювання. На жаль, через відсутність конкретних методик виявлення причин пожеж, з'ясувати точно причетність електричних мереж до пожеж не вдається.

Цим питанням займалися такі вчені багатьох наукових шкіл (Schontag A., Hagemuer W., Etlling B., 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).

Перші роботи з цієї проблеми були виконані за кордоном Schontag A., Hagemuer W., Etlling B. [2-4]. Автори вказували на можливість диференціації оплавлень різної природи методом металографії. Відмінні ознаки полягають, як зазначав Schontag A., у переважному утворенні одного з мідних оксидів (закису або окису міді) залежно від складу навколишньої атмосфери. Etlling B. зазначав, що плавлення мідного провідника під впливом зовнішнього нагрівання відбувається переважно по його поверхні, а в центрі перерізу залишається нерозплавлена мідь, що і виявляється на шліфі при металографічному дослідженні. Перегрівання ж провідника струмами короткого замикання (КЗ) або перевантаження створюють у металі жили велику кількість газових пустот.

Кількісних критеріїв для диференціації первинного та вторинного КЗ зазначені вище роботи не пропонували і були лише першим кроком на підступах до вирішення проблеми.

З кінця 60-х - початку 70-х років були розпочаті дослідження з цього питання під керівництвом Г. І. Смелкова. В 1970-1977 роках була розроблена методика дослідження оплавлень мідних і алюмінієвих провідників [5]. В якості основного інструментального методу дослідження пропонувалося використовувати рентгенофазовий аналіз з фотореєстраційною зйомкою в камері Дебая-Шеррера. Металографічний метод, як спосіб оцінки причетності струмів КЗ в мідних і алюмінієвих провідниках до виникнення пожежі, був визнаний неефективним. Для алюмінієвих провідників в якості додаткового методу дослідження був рекомендований аналіз на вуглець, оскільки було помічено, що вміст вуглецю у провідниках, оплавлених первинним КЗ у 2-5 разів нижчий, ніж при вторинному короткому замиканні. Це також є наслідком відмінностей в газовому складі середовища при первинному і вторинному КЗ, підвищеного вмісту у ньому в другому

випадку окислів вуглецю, які взаємодіють при температурі пожежі з металом жили провідника.

У вісімдесятих роках роботи із вдосконалення методу встановлення природи оплавлень в мідних і алюмінієвих проводах були продовжені у Всесоюзному науково-криміналістичному центрі МВС СРСР (ВНКЦ) Е. Р. Росінською, А. І. Колмаковим, С. І. Зерновим, Б. В. Степановим та ін.. Рентгенофазовий аналіз почали виконувати на дифрактометрі, що значно спростило і прискорило дослідження, а головне, дало змогу ввести в методику елемент кількісної оцінки результатів. В результаті проведених в ВНКЦ експериментів з'ясувалося, що окис міді погано зберігається на провіднику, легко обсипається і будувати дослідження та висновки на порівнянні кількостей окису і закису не завжди коректно. Тому методика була дещо змінена по суті; за критерій для диференціації ПКЗ та ВКЗ почали використовувати співвідношення дифракційних максимумів міді і закису міді в зоні, що безпосередньо прилягає до оплавлення, і в зоні, що знаходиться на певній відстані від нього. Була "реабілітована" і металографія. Виявилось, що вона не тільки корисна для такого роду досліджень, а й у багатьох випадках інформативніша за рентгеноструктурний аналіз [6].

До сьогодні не існує єдиного методу щодо визначення причетності електроустановок до виникнення пожеж. Таким чином, питання пожежної безпеки в електроустановках, а також пошук методів виявлення причин пожеж є важливим і актуальним, і потребує свого вирішення не лише на законодавчому рівні, а й у вигляді оптимальних технічних рішень.

Існуючі методи та методологія визначення причетності внутрішніх електричних мереж житлових та громадських будівель до виникнення пожеж на нинішній день, в багатьох випадках є неоднозначними, тому є підозра, що показник 25 % пожеж, які виникають від електроустановок є явно завищеними [7]. У зв'язку з цим, з'явилась технічна задача вдосконалення методології визначення причетності електричних режимів внутрішніх

електричних мереж до виникнення пожеж в житлових та громадських будівлях.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дослідження проводились 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 № 0114U005469).

**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:

- на основі аналізу публікацій та нормативно-правових актів виявити недоліки у методиці визначення причин виникнення пожеж в житлових та громадських будівлях від внутрішніх електромереж;
- на основі методу планування наукових експериментів сформулювати план випробувань елементів внутрішніх електромереж та вибір температурних режимів для виконання досліджень;
- провести експерименти із загоряння оздоблювальних елементів житлових та громадських будівель від нагрітих струмом провідників внутрішніх електромереж і встановити параметри їх загорянь;
- 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;

- виявити та дослідити ознаки причетності внутрішніх електричних мереж житлових та громадських будівель до виникнення пожеж методом рентгенофазового та металографічного аналізу;
- 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 отриманих результатів**

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 отриманих 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  $1,5 \text{ мм}^2$  є завищеним, оскільки прийнято, що температура навколишнього середовища дорівнює  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , 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».



## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ СТАНУ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ЖИТЛОВИХ ТА ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ

#### 1.1. Огляд статистики пожеж у житлових та громадських будівлях

Основними напрямками забезпечення пожежної безпеки є усунення умов виникнення пожежі та мінімізація її наслідків. Усім відома істина, що пожежі легше запобігти, ніж потім її загасити.

Згідно з даними міжнародної статистики, при зростанні чисельності населення на 1 % кількість пожеж збільшується приблизно на 5 %, а збитки від них зростають на 10 % [8].

Статистика свідчить, що прямі збитки в розрахунку на 1 людину в рік зростають в Італії - на 4 долари, у Франції - на 5, у Великобританії - на 8, у Німеччині – на 13, у США- на 15 доларів. Згідно із світовою статистикою пожеж (Center of Fire Statistics of CTIF), найбільша кількість пожеж із загибеллю людей виникає у житловому секторі 80 % (рис. 1.1 - 1.2) [8, 9].

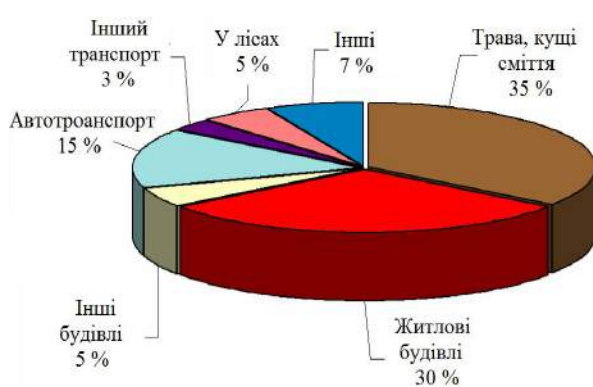


Рисунок 1.1 – Розподіл пожеж за місцем їх виникнення

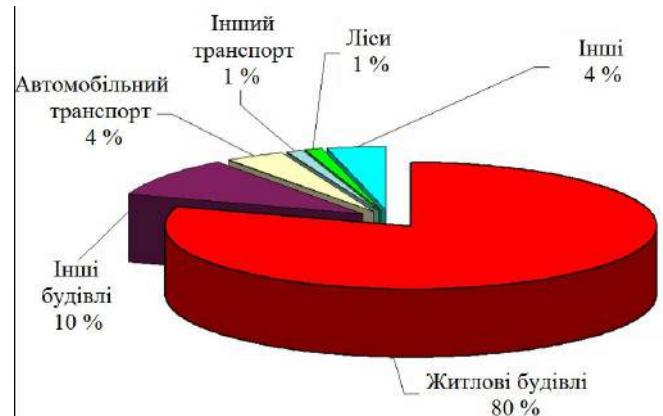


Рисунок 1.2 – Кількість загиблих від пожеж

Розглянемо статистику пожеж в країнах світу у 2000 - 2010 роках (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Статистика пожеж у країнах світу у 2000 - 2010 роках

<i>№ з/п</i>	<i>Країна</i>	<i>Населення тис. чол.</i>	<i>Середнє число пожеж на рік</i>	<i>Середнє число пожеж на 1000 чол. на рік</i>
1	Китай	1 321 852	251 786	0,19
2	Індія	1 129 866	200 000	0,18
3	США	301 140	1 613 400	5,36
4	Росія	141 378	236 698	1,67
5	Філіппіни	91 077	9 877	0,11
6	В'єтнам	85 262	2 154	0,03
7	Німеччина	82 401	184 485	2,24
8	Туреччина	71 159	59 618	0,84
9	Франція	63 714	357654	5,61
10	Великобританія	60 776	489 942	8,06
11	Італія	58 148	211 504	3,64
12	Україна	46 300	53 546	1,16
13	ПАР	42 880	51 620	1,20
14	Польща	38 518	179 815	4,67
15	Перу	28 675	7 445	0,26
16	Узбекистан	27 780	15 295	0,55
17	Малайзія	24 821	27 012	1,09
18	Тайвань	22859	7 590	0,33
19	Румунія	21 537	11 957	0,56
20	Австралія	20 434	113 442	5,55
21	Казахстан	15 285	17 340	1,13
22	Греція	10 706	27 391	2,56
23	Португалія	10 643	64 560	6,07
24	Чехія	10 229	19 369	1,89
25	Сербія	10 150	16 334	1,61
26	Угорщина	9 956	24 897	2,50
27	Білорусь	9 725	11 916	1,23
28	Швеція	9 031	26 772	2,96
29	Австрія	8 200	32 204	3,93
30	Швейцарія	7 555	15 126	2,00
31	Болгарія	7 323	12 585	3,08
32	Таджикистан	7 077	1 272	0,18
33	Лаос	6 522	118	0,02
34	Йорданія	6 053	9 867	1,63
35	Данія	5 468	16 626	3,04
36	Словаччина	5 448	11 978	2,20
37	Фінляндія	5 239	14 757	2,82

## Продовження таблиці 1.1

38	Норвегія	4 628	12 826	2,77
39	Сінгапур	4 553	4 828	1,06
40	Хорватія	4 493	8 039	1,79
41	Молдова	4 321	2 623	0,61
42	Коста-Ріка	4 134	10 126	2,45
43	Нова Зеландія	4 116	22 524	5,47
44	Ірландія	4 109	31 051	7,56
45	Албанія	3 601	1 827	0,51
46	Литва	3 575	18 983	5,31
47	Монголія	2 952	2 112	0,72
48	Кувейт	2 506	4 775	1,91
49	Латвія	2 260	12 050	5,33
<i>Всього</i>		<i>3 870 435</i>	<i>4 147 870</i>	<i>1,07</i>

Щорічно в Україні виникає понад 50 000 пожеж, на яких гинуть понад 3500 людей. За останні роки кількість пожеж, кількість знищених вогнем будівель зросли більше ніж у 8 разів, а динаміка загибелі людей на пожежах має загальну тенденцію до зростання [1].

Для проведення аналізу статистики пожеж від електрообладнання були використані дані масивів карток обліку пожеж за період 2000-2014 років (рис. 1.3).

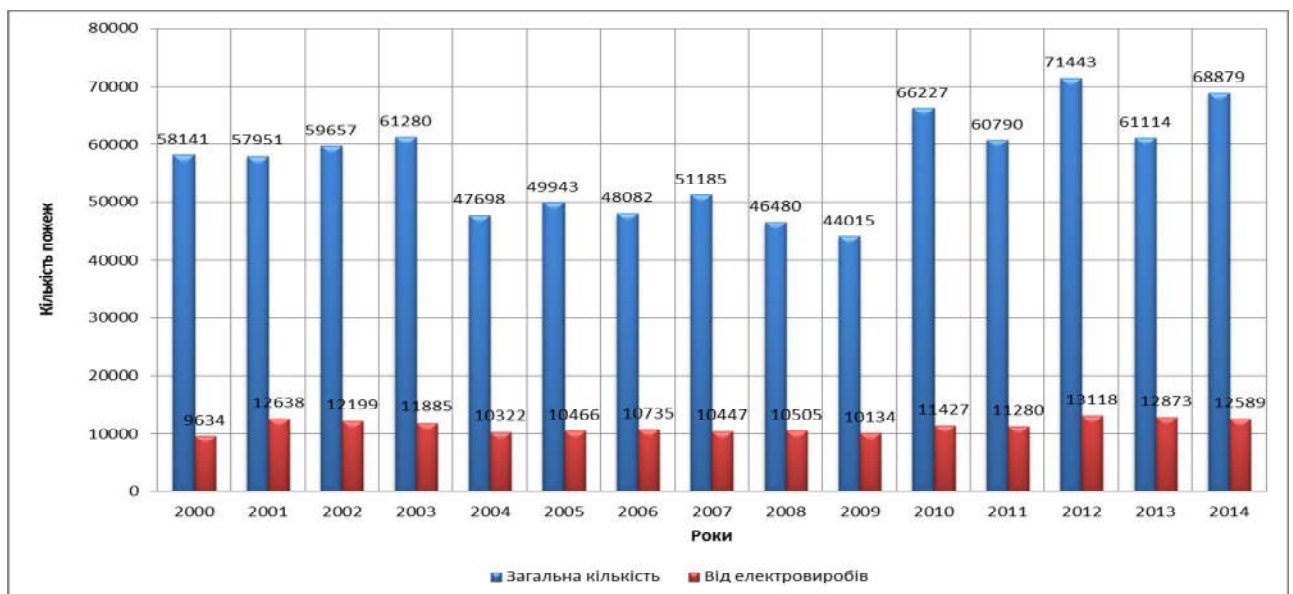


Рисунок 1.3 – Статистика порівняння загальної кількості пожеж та пожеж від електровиробів з 2000 по 2014 роки

Щодня в Україні в середньому виникало 194 пожежі, внаслідок яких гинуло п'ятеро та отримувало травми четверо людей, вогнем знищувалося 75 будівель і споруд та тринадцять одиниць техніки. Щоденні матеріальні втрати від пожеж становили 23 млн. 569 тис. гривень.

На рисунку 1.4 наведено динаміку загальної кількості пожеж та пожеж у житловому секторі протягом останніх 10 років.

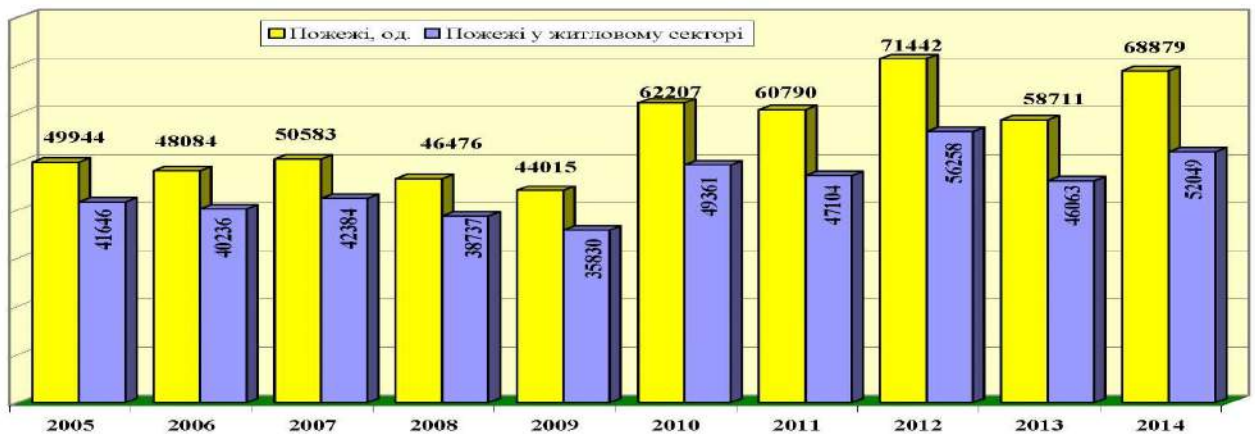


Рисунок 1.4 – Динаміка загальної кількості пожеж та пожеж у житловому секторі

На рисунку 1.5 наведено динаміку кількості загиблих унаслідок пожеж та травмованих на них протягом останніх років.

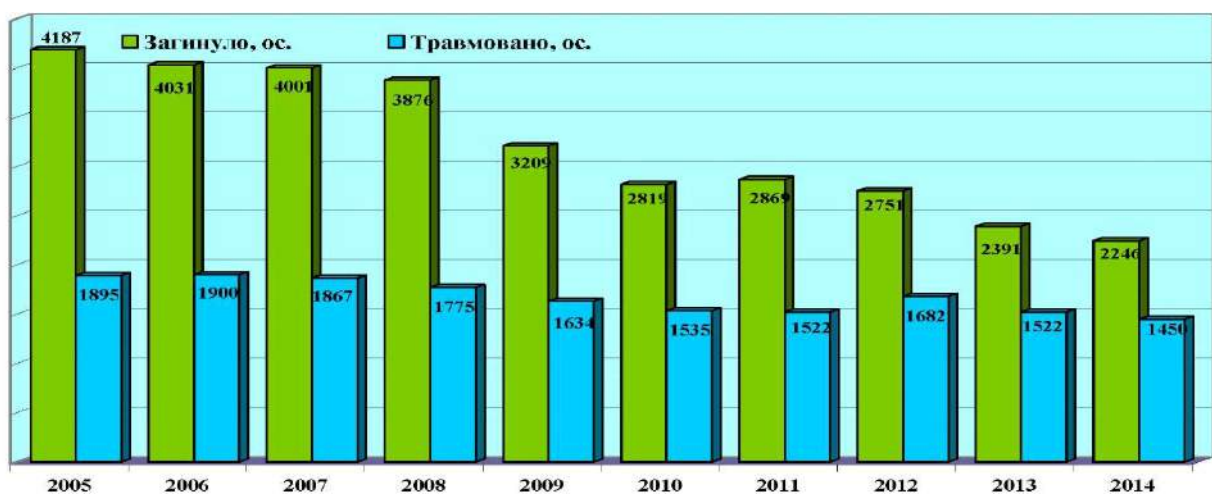


Рисунок 1.5 – Динаміка кількості загиблих унаслідок пожеж та травмованих на пожежах

Найбільша кількість пожеж за цей період виникає у вечірній (з 13 до 20 год) та нічний (з 24 до 4 год) час (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Статистика залежності кількості пожеж від часу доби з 2000 по 2014 роки

Як свідчить статистика, найбільша кількість пожеж виникає у житловому секторі. Так, щорічно в Україні виникає понад 50 тисяч пожеж та загорянь, які завдають матеріальних збитків на суму понад 550 млн. гривень. Більш як 40 тисяч цих надзвичайних подій (або 80 % від загальної кількості) припадає на житло. У житловому секторі гине й отримує травми 90 % від загальної кількості загиблих і травмованих у вогні.

Щодня в Україні у житловому секторі трапляється до 110 пожеж, вогонь знищує близько 50 житлових будівель. Кожна друга пожежа виникає внаслідок необережного поводження з вогнем, кожна четверта - пов'язана з порушенням вимог пожежної безпеки під час експлуатації електропобутових чи опалювальних приладів.

## 1.2. Аналіз причин виникнення пожеж від внутрішніх електричних мереж житлових та громадських будівель

У всьому світі електрика є причиною 25 % всіх пожеж, 80 % яких виникає на території житлового сектора [8-10].

Основними причинами пожеж від теплових проявів електричної енергії в електроустановках є [1, 11-14]:

- |   |        |
|---|--------|
| 1) короткі замикання  | ~ 43%; |
| 2) перегрів горючих матеріалів і предметів, що перебувають поблизу залишених без нагляду електронагрівальних приладів | ~ 33%; |
| 3) струмові перевантаження  | ~ 12%; |
| 4) створення великих перехідних опорів  | ~ 5%;  |
| 5) іскріння та електричні дуги  | ~ 3%;  |
| 6) інші причини   | ~ 4%.  |

Найчастіше в електроустановках виникають режими перевантаження елементів електричних мереж і споживачів та КЗ, що може призвести до виникнення пожеж від електроустановок.

Перевантаження – вид аварійного режиму, що виникає внаслідок підключення до електромережі споживачів, номінальний струм яких перевищує допустимий (за умов нагрівання) для даного перетину провідника. При значній величині перевантаження тривалість аварійного режиму (до спрацьовування захисту або перегорання жили проводу) може бути відповідна з тривалістю короткого замикання.

Явище КЗ – це не передбачені нормальним режимом роботи замикання струмопровідних частин, що мають різну полярність (для постійного струму), підключених до різних фаз (змінний струм) або таких, що мають різні потенціали (замикання на землю, заземлені предмети і нульові провідники).

Іскріння і електрична дуга – найбільш поширені причини загорянь. Від дуги спалахують практично всі горючі речовини в результаті безпосередньої дії, від її світлового випромінювання або від бризок розплавленого металу. Температура електричної дуги може сягати 4000 °С.

Іскріння виникає внаслідок слабого контакту струмопровідних частин, розмикання електричного кола апаратами захисту, розриву кола внаслідок механічних пошкоджень, при електричній зварці і різанні металу, а також на колекторах електричних машин внаслідок поганого догляду за ними.

Залежність кількості пожеж від приладу внутрішніх електричних мереж, який призвів до загоряння у житлових та громадських будівлях показана на (рис. 1.7).

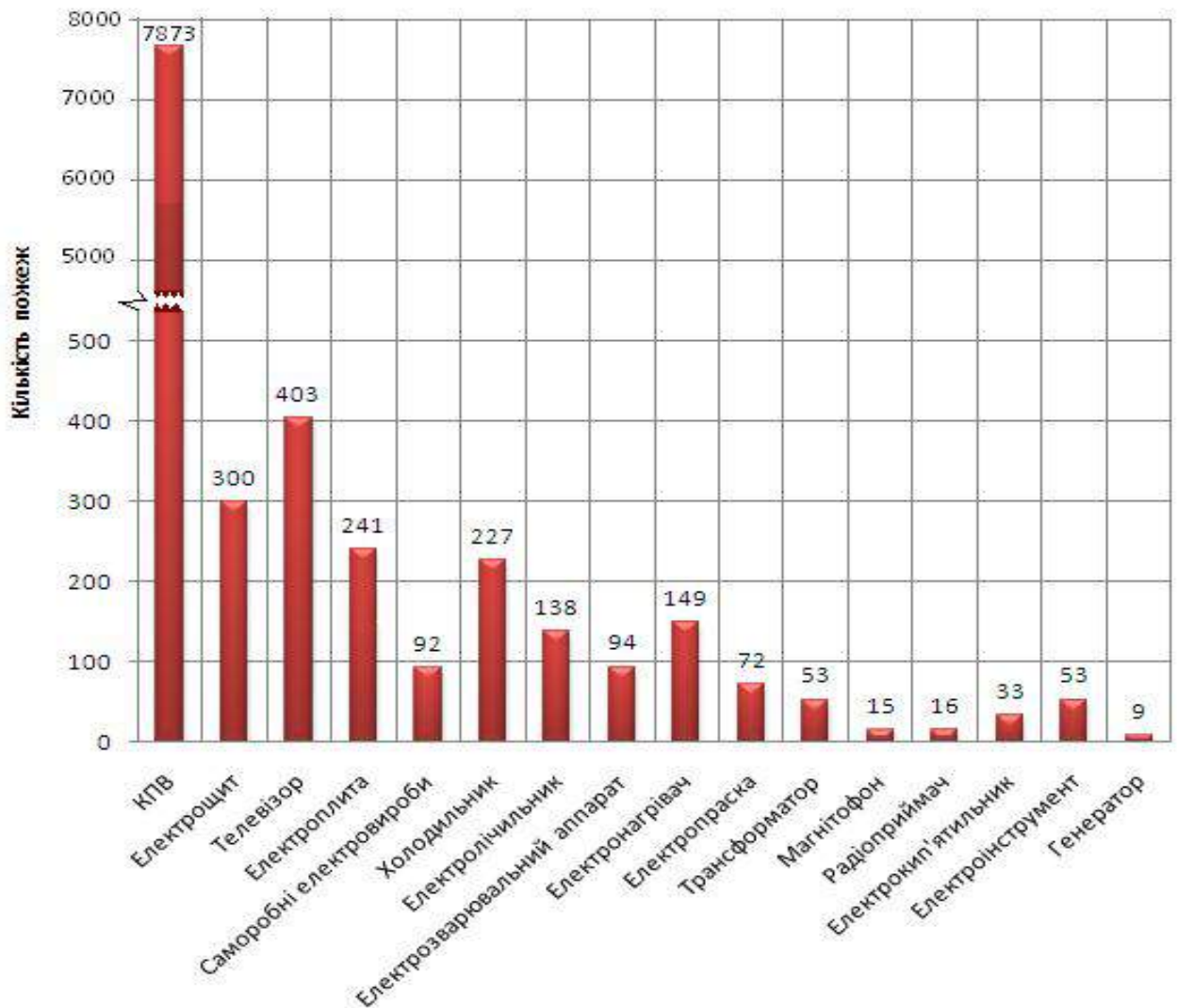


Рисунок 1.7 – Графік кількості пожеж спричинених різними електроприладами

Якщо розглянути основні місця виникнення пожеж в електроустановках у відсотковому значенні, то одержимо такі значення:

- кабельно-провідникові вироби – 61,6 %,
- електронагрівальні прилади – 16,9 %,
- комутуюча арматура і апарати захисту – 10,9 %,
- побутова техніка – 8,7 %,
- силове електрообладнання – 1,9 %.

Щорічно в Україні через порушення правил монтажу та експлуатації електроустановок, побутових електроприладів виникає понад 11 тис. пожеж та загорянь, тобто 20-25 % від загальної кількості.

Найчастіше пожежі виникають від короткого замикання, перевантаження електромережі, великих перехідних опорів (ВПО), підключених до електромережі і залишених без нагляду електроприладів (чайників, плиток, прасок, електроплит тощо).

### **1.3. Вимоги нормативних документів щодо структури та конструктивного виконання внутрішніх електричних мереж житлових та громадських будівель**

Основні терміни [17-20].

Електромережа – підстанції, розподільні установки та електричні лінії, призначені для передачі та розподілу енергії, до яких безпосередньо приєднана електроустановка або електропроводка споживача.

Електромережі класифікують за:

*напругою:*

- мережі з напругою до 1000 В;
- мережі з напругою більше 1000 В.

*видом струму:*

- мережі постійного струму;



– мережі змінного струму: - однофазні; - трифазні; - багатофазні.

*призначенням:*

- живильна (для живлення квартир);
- розподільча (від розподільчих щитів до силових споживачів або до квартирних щитків електророзподільників);
- групова (освітлювальна) - подає живлення до світильників і штепсельних розеток.

*місцем знаходження:*

- зовнішні; - внутрішні;
- - відкриті; - приховані.

Електропроводкою називається сукупність проводів і кабелів з належним їм кріпленням, підтримуючими та захисними конструкціями і деталями.

Електроустановка – комплекс взаємопов'язаних устаткувань і споруд, призначених для виробництва або перетворення, передачі, розподілу та споживання електричної енергії.

Апаратом захисту (АЗ) називається апарат, що автоматично відключає електричне коло, яке захищається від аварійних режимів роботи.

Підключення до електромережі – виконання операції з комутації для забезпечення постачання електричної енергії споживачу.

Технічне обстеження, технічний огляд – комплекс робіт із забезпечення необхідного режиму роботи електроустановок; проведення перемикачів, оглядів обладнання; підготовки до проведення ремонту (підготовки робочого місця, допуску); технічного обслуговування обладнання, що передбачене інструкціями.

Поточний ремонт – ремонт, що виконується для забезпечення або відновлення працездатності виробу і полягає в заміні і (або) відновленні окремих його частин.

Капітальний ремонт – ремонт, який здійснюють для відновлення справності та повного чи майже повного відновлення ресурсу виробу із заміною чи відновленням будь-яких його частин, включаючи базові.

Електрична ізоляція – це шар діелектрика або конструкція, виконана з діелектрика, котрим вкривається поверхня струмоведучих частин, або котрим струмоведучі частини відділяються одна від одної. Стан ізоляції характеризується її електричною міцністю, діелектричними втратами та електричним опором. Ізоляція запобігає протіканню струмів через неї завдяки великому опору [21]. Основні фізико-механічні та електричні властивості ізоляції провідників наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Фізико-механічні та електричні властивості ізоляції кабелів

Матеріал	Густина, г/см <sup>3</sup>	Межа міцності при розтягу		Відносне видовження при розриві, %	Морозостійкість, °С	Теплостійкість, °С	Діелектрична проникність	tgδ×10 <sup>-4</sup> при частоті 1 кГц
		МПа	кгс/мм <sup>2</sup>					
Кабельний папір	0,7	800	80	2	-3	—	2... 2,5	80
Полістирол	1,05	300 ... 500	30 ... 50	1,5 ... 3,5	-70	70	2,5... 2,7	2
Суцільний поліетилен	0,92	120 ... 180	12 ... 18	150 ... 600	—	110	2,28 ... 2,30	3
Пористий поліетилен	0,47	25 ... 80	2,5 ... 8	300	—	110	1,45 ... 1,50	4
ПВХ	1,26 ... 1	100 ... 220	10 ... 22	150 ... 400	-20 до 60	—	3 ... 6	300 ... 1000

Розрізняють ізоляцію [22]:

- робочу – забезпечує нормальну роботу електроустановок і захист від ураження електричним струмом;
- додаткову – забезпечує захист від ураження електричним струмом на випадок пошкодження робочої ізоляції;
- подвійну – складається з робочої і додаткової;

- посилену – поліпшена робоча ізоляція, яка забезпечує такий рівень захисту, як і подвійна.

Під час проектування електроустановок опір ізоляції приймається в межах 1 кОм, якщо технічними умовами не передбачені більш жорсткі вимоги, відповідно до чинних актів. З метою забезпечення працездатності електроустановок і безпечної їх експлуатації проводиться контроль стану ізоляції, який характеризується електричною міцністю ізоляції, її електричним опором і діелектричними втратами. В установках, напругою більше 1000 В, проводять всі види випробування ізоляції, а при напрузі до 1000 В – контролюється тільки електричний опір і електрична міцність [23, 24].

Захисне заземлення - це навмисне електричне з'єднання з землею чи її еквівалентом металевих не струмопровідних частин електроустановок, які можуть опинитись під напругою.

Захисне відключення – відключення електроустановки при пошкодженні ізоляції і переході напруги на неструмовідні її елементи. Застосовується в доповнення до захисного заземлення (занулення) для забезпечення надійного захисту, перш за все, в умовах особливої небезпеки електротравм.

З кожним днем кількість багатофункціональної електропобутової техніки в наших оселях неухильно зростає, тому з підвищенням рівня якості нашого життя, зростає потенційна небезпека під час її щоденної експлуатації, адже сучасна побутова техніка потребує відповідних умов та схем електропостачання для її безпечної експлуатації.

В житлових будинках широко розповсюджена та використовується двопровідникова схема електропостачання (рис. 1.8), яка також не відповідає сучасним вимогам електроспоживання. Як відомо, практично вся побутова техніка для експлуатації потребує додатковий захисний провід (РЕ) в системі електропостачання, тому використання побутової техніки в існуючих умовах

суперечить вимогам правил експлуатації, які визначені нормативно-технічними документами нашої держави та інструкціями виробників електротехнічної продукції [25].

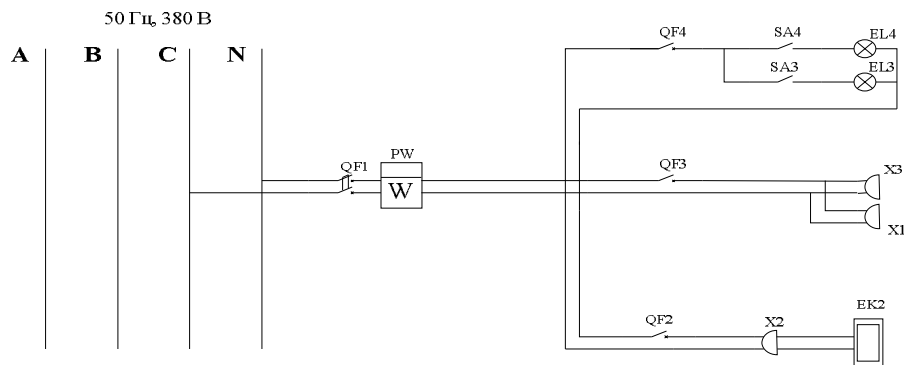


Рисунок 1.8 – Схема типової квартирної електромережі

Зараз постало питання щодо збільшення нормованої встановленої потужності електроспоживання окремою квартирою, проведення реконструкції та заміни існуючих побутових електромереж на сучасну трипровідну із системою заземлення [26-28].

Відомо три основні системи заземлення: TT, TN, IT. Відмінностями цих схем є спосіб заземлення та джерела електроенергії [17].

Наприклад, підсистема TN-S відрізняється від тим, що для заземлення у ній використовується, підключений до N-провідника в точці заземлення джерела електроживлення додатковий захисний РЕ-провідник (рис. 1.9).

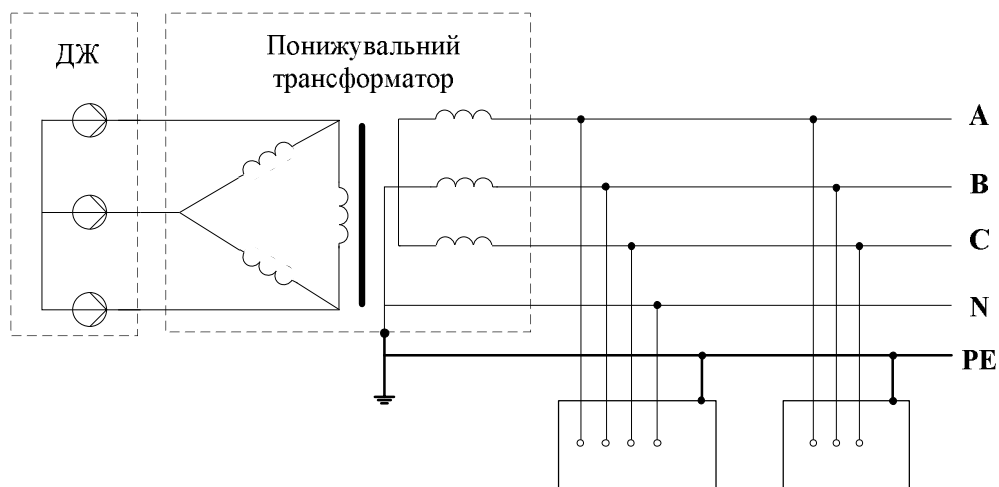


Рисунок 1.9 – Виконання система TN-S

У житлових будинках найменший допустимий переріз мідних провідників повинен відповідати таблиці 1.3 [20, 29].

Таблиця 1.3 – Найменші допустимі перерізи кабелів і проводів електричних мереж у житлових будинках

Найменування мереж	Найменший переріз кабелів і проводів з мідними жилами, мм <sup>2</sup>
Групова	1,5
Розподільча до квартирних щитків електрорічильників	2,5
Розподільча (стояки) для живлення квартир	4,0

#### **1.4. Технічні заходи та вимоги, спрямовані на підвищення пожежної безпеки внутрішніх електричних мереж**

За даними статистики, електричні мережі є найбільш пожежонебезпечним видом електроустановок, оскільки на них припадає приблизно 61 % всіх пожеж, пов'язаних з електроустаткуванням і електропристроями [1, 8, 9].

Термін «пожежна небезпека» електромережі характеризує три основні пожежонебезпечні прояви електричного струму [30-33]:

- здатність самої електричної мережі в певних аварійних ситуаціях (коротке замикання, перевантаження тощо) стати джерелом пожежі (займання власної ізоляції з подальшим загорянням підтримуючих конструктивних елементів);
- здатність ізоляції проводів поширювати горіння при запалюванні від сторонніх джерел;
- здатність утворювати в момент короткого замикання розплавлені частинки провідникових металів.

Електроустановки (можливість їх застосування, монтаж, наладка та експлуатація) повинні відповідати вимогам чинних Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), НПАОП 40.1-1.32-01, Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕ), Правил техніки безпеки під час експлуатації електроустановок споживачів (ПТБ) та інших нормативних документів.

Низький рівень пожежної безпеки внутрішніх електричних мереж пояснюється рядом чинників: незадовільним технічним станом електричних мереж, що знаходяться в експлуатації, низькою якістю електроприладів і невідповідністю їх стандартам безпеки, відсутністю ефективних служб контролю безпечної експлуатації електроустановок, недотриманням правил пожежної безпеки при експлуатації побутової техніки і дуже низькою ефективністю електричного захисту від аварійних режимів [34-36].

Як показує практика, у багатьох випадках електричні мережі, не дивлячись на формальну наявність захисту - автоматичних вимикачів і запобіжників, по суті, від пожежобезпечних режимів не захищені [37-40].

Неконтрольоване з точки зору безпеки життєдіяльності використання струму на жаль дуже актуальне у житловому секторі, тому що переважаюча кількість пожеж стається саме у житлових квартирах, приватних будинках, і в основному причиною є неправильне поводження з електрикою [41, 42].

Відповідно до методик вибору захисту, що діють, від коротких замикань необхідна чутливість захисту забезпечується, якщо величина струму КЗ не менш ніж в 3 рази перевищує номінальний струм плавкої вставки запобіжника або теплового розчіплювача автоматичного вимикача. Таким чином, для запобіжників, наприклад, ПН-2 на 100 А (часто вживаних в розподільчих електричних щитах) умова надійного спрацьовування при КЗ сягає 300 А. Дійсно, при такому значенні струму запобіжник спрацює, але, лише, відповідно до його характеристики, через 10 с. Аналогічно працюють і автоматичні вимикачі. Їх електромагнітні розчіплювачі "миттєвої" дії часто

взагалі не реагують на струми КЗ малої величини, а теплові розчіплювачі можуть спрацювати лише через десятки секунд [43].

Іншою причиною низької ефективності електричного захисту є той факт, що не враховується перепалюючий ефект електричної дуги, яка зазвичай виникає при коротких замиканнях [44]. Температура в місці дії дуги сягає 2 ... 4 тис. °С [30], що аналогічно дії електрозварювання. При цьому провідники можуть перепалюватися швидше, ніж спрацює захист, що еквівалентно його відсутності і неконтрольованому протіканню пожежі, небезпечних процесів, пов'язаних з розвитком електричної дуги, іскроутворення, займанням ізоляції і інших горючих матеріалів і т.п.

Крім того, займання ізоляції провідників може статися під час дії струмів витоку, викликаних старінням ізоляційних матеріалів, їх механічними пошкодженнями або руйнуванням під дією температури і агресивного середовища.

Найбільш вразливими місцями внутрішньої електричної мережі під час перевантажень вважаються місця контактних з'єднань, через великі перехідні опори (ВПО) в яких провідники значно швидше нагріваються до вищих температур, ніж на прямих ділянках мережі [45]. У зв'язку із відсутністю на ринку електротехнічної продукції з'єднувальних коробок, які б дали змогу швидко та якісно з'єднувати провідники між собою, на практиці часто зустрічається виконання з'єднань в електромережах шляхом скручування між собою провідників (скруткою), хоча такі з'єднання заборонені правилами пожежної безпеки [46]. Вони характеризуються низькою надійністю, підвищеним перехідним опором та здатні з часом до ослаблення контакту, внаслідок чого відбуваються значні перегрівання та руйнація матеріалу провідника, оплавлення та загоряння ізоляції [47].

Одним з чинників, що найбільше впливає на рівень безпеки електричної мережі, є стан електроізоляції. Основним параметром, який пришвидшує її старіння та призводить до втрати ізоляційних властивостей, є

підвищена температура. Теплове старіння електроізоляційних матеріалів є складним фізико-хімічним процесом, і залежить від умов їх експлуатації. Це призводить до втрати механічної міцності і, як наслідок, до виникнення крихкості електроізоляційного матеріалу. Таким чином, термін безпечної експлуатації ізоляційного матеріалу може бути скороченим і до значної міри залежати як від умов використання матеріалу, так і від умов навколишнього середовища в якому вони використовуються [30, 48].

Однак внутрішні електричні мережі навіть і при номінальному навантаженні становлять велику небезпеку як з погляду пожежної безпеки, так і з погляду захисту людини від ураження електричним струмом.

Пожежна безпека електромереж забезпечується дотриманням таких основних вимог:

- ✓ правильним вибором виду провідника і способу його прокладки;
- ✓ відповідністю виду електромережі і характеристик проводів, кабелів, що використовуються допустимим способам;
- ✓ правильним вибором електрозахисту.

Загальні пожежно-профілактичні вимоги при проектуванні і монтажі електричних мереж полягають у наступному [17, 20, 29, 46]:

- електромережі повинні відповідати всім вимогам навколишнього середовища відповідно до виду приміщення;
- зручна прокладка кабелів, яка сприяє швидкій локалізації вогнища пожежі;
- при відкритому прокладанні захищених проводів (кабелів) з оболонкою з горючих і незахищених проводів зазор між проводом (кабелем) і поверхнею прилеглих конструкцій і деталей з горючих матеріалів має становити не менше 10 мм. Допускається відокремлювати провід (кабель) від вказаної поверхні шаром негорючого матеріалу, що виступає з кожного боку проводу (кабелю) не менше ніж на 10 мм;



– при прихованій прокладці захищених проводів (кабелів) з оболонками з горючих матеріалів і незахищених проводів зазор між проводом (кабелем) і прилеглою поверхнею конструкції з горючих матеріалів має становити не менше 100 мм. Якщо не можна забезпечити вказану величину зазору, провід (кабель) слід захищати з усіх боків суцільним шаром негорючого матеріалу (наприклад листового азбесту товщиною не менше 3 мм; штукатурного, алебастрового або цементного розчину товщиною не менше 10 мм);

– зниження пожежної небезпеки просоченням кабельних покривів розчинами або фарбами, що унеможливають поширення полум'я по їх поверхні;

– при перетині електромереж з елементами будівельних конструкцій з горючих матеріалів ці ділянки мають бути виконані з дотриманням усіх вимог;

– у місцях з температурою, що відрізняється від розрахункової температури навколишнього середовища (+25 °C), проводи і кабелі повинні мати теплостійку ізоляцію, або струмові навантаження на них повинні бути відповідно знижені;

Зниження пожежної небезпеки контактних з'єднань в місцях приєднання проводів до приладів та апаратів досягається правильним вибором розміру гвинтових затискачів залежно від перерізу провідників.

## 1.5. Висновки до першого розділу

1. Аналіз технічного стану електричних мереж у житловому секторі показав, що на даний час експлуатується близько 50 % житлових будівель старої забудови, в тому числі дерев'яні будівлі, де електричні мережі за своїми параметрами та структурою не відповідають сучасним вимогам пожежної безпеки. Це особливо стосується поперечних перерізів провідників, кутів згинів, контактних з'єднань, відгалужень тощо, де з'являється тенденція до збільшення опорів і відповідно температури нагрівання провідників.

2. Підвищення рівня споживання електричної енергії житловим сектором, та виробництво побутового електрообладнання з великим споживанням електроенергії потребує зміни структури побутових електричних мереж з метою розділення струмового навантаження провідників електромережі та оптимального влаштування захисту окремих ділянок і елементів мережі від струмів перевантаження, що зменшить ризики нагрівання до пожежонебезпечної температури.

3. Через відсутність універсальних та недоліки існуючих методів визначення причин виникнення пожеж від електромереж в житлових та громадських будівлях, кількість таких пожеж становить 25 %. Це потребує вдосконалення існуючих методів або запровадження альтернативних, що за попередніми прогнозами на підставі експертних оцінок цей показник не буде перевищувати 20 %.

4. Для забезпечення пожежної безпеки електропроводів при їх виконанні та монтажі необхідно дотримуватись вимог чинних ПУЕ, що підвищить пожежну безпеку внутрішніх електричних мереж житлових та громадських будівель.

## РОЗДІЛ 2

### МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ВНУТРІШНІХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ПІСЛЯ ПОЖЕЖ

#### 2.1. Загальні положення та основні терміни і визначення [49-52].

*Внутрішня проводка* – це сукупність проводів, кабелів, шнурів з усіма кріпленнями та підтримуючими пристроями, що прокладені всередині будівель та споруд.

*Кабельний виріб* – гнучкий електричний виріб, призначений для передачі по ньому електричної енергії, електричних сигналів інформації або, що служить для виготовлення обмоток електричних пристроїв.

*Неізольовані проводи* - застосовуються в основному для прокладання повітряних ліній електропередач. Проводи виготовляються з міді, алюмінію, а також комбінованими (сталевий сердечник, поверх якого накладається один або декілька витків алюмінієвого дроту).

*Силові кабелі* - призначені для передачі і розподілу електричної енергії. Кабелі випускаються з мідними і алюмінієвими жилами, з ізоляцією з поліхлорвінілового пластикату, поліетилену, гуми. Діапазон напруг силових кабелів - від 660 В до 500 кВ. Кабелі мають свинцеві, алюмінієві або пластмасові оболонки.

*Провід* - кабельний виріб, що містить одну або кілька скручених дротин або одну чи більше ізольованих жил, поверх яких, залежно від умов прокладки й експлуатації, може бути легка неметалічна оболонка, обмотка і (або) плетиво з волокнистих матеріалів або дроту, і не призначений, як правило, для прокладки в землі.

*Кабель* - кабельний виріб, що містить одну або більше ізольованих жил (провідників), поміщений у металеву або неметалеву оболонку, поверх якої, залежно від умов прокладки й експлуатації може бути відповідний захисний

покрив, в який може входити броня, і придатний, зокрема, для прокладання в землі та під водою.

*Шнур* - провід з ізолюваними жилами підвищеної гнучкості, призначений для з'єднання з пересувними пристроями.

## **2.2. Характеристика та параметри кабельно-провідникових виробів, які застосовуються для побудови внутрішніх електричних мереж житлових та громадських будівель**

Виконання внутрішніх електричних мереж житлових та громадських будівель здійснюють на підставі проекту, де вибрано, згідно з вимогами нормативних документів, відповідно конструкція та параметри елементів електричних мереж, в тому числі і провідників. Підставою для їх вибору є струмові навантаження, умови прокладання, що є визначальним для вибору конструкції провідників та виду ізоляції.

У проекті вказуються поперечні перерізи провідників на кожній ділянці мережі, а також автоматичні вимикачі та елементи захисту, які вибираються на основі розрахунку струмів перевантаження та КЗ.

Враховуючи те, що ці розрахунки переважно є наближеними, а проекти в багатьох випадках виконуються типові, то слід розуміти, що у цьому і полягає пожежна небезпека внутрішніх електричних мереж.

Крім того нормативні вимоги, які використовують в Україні дещо відмінні за своїми кількісними характеристиками від зарубіжних, особливо від тих країн в яких кількість пожеж від внутрішніх електромереж є значно меншою. Мова йде про густину струму у провідниках внутрішніх електромереж, що потребує обґрунтування та корекції в нормативних документах України. Тому у проекті вказуються конкретні параметри та конструктивні особливості провідників для виконання внутрішніх електромереж.

Провід складається зі струмоведучої жили, ізоляції струмоведучої жили, оболонки, покриття (рис. 2.1).

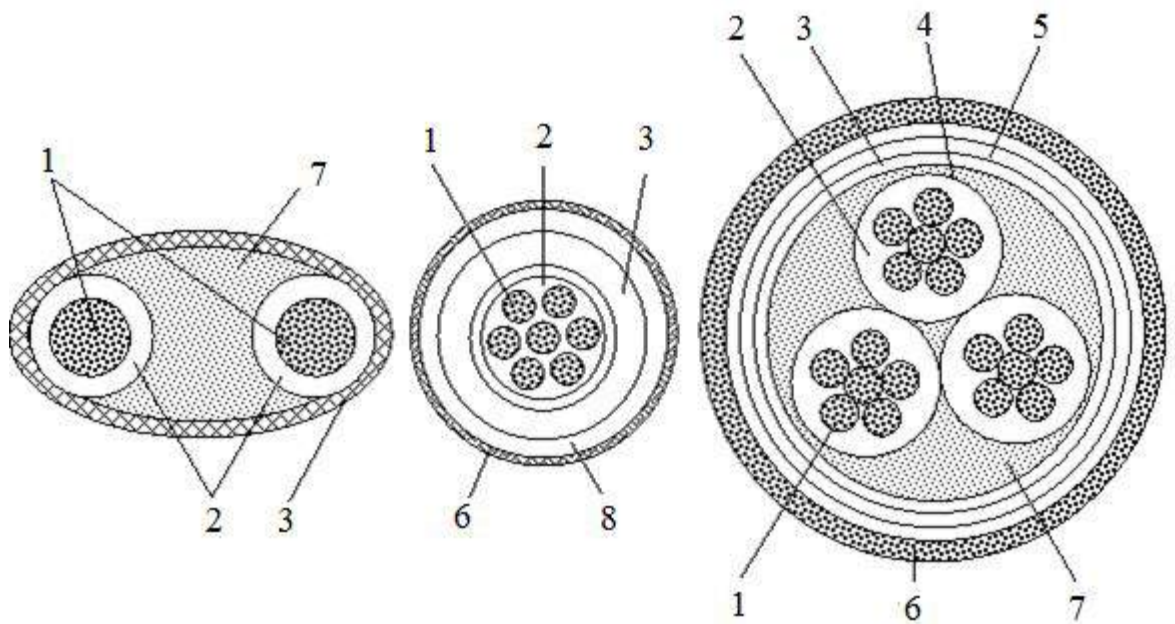


Рисунок 2.1 – Конструкція проводу

1 - жили, 2 - гума, 3 - свинцева оболонка, 4 - просочена гумою тканина, 5 - сталева оболонка, 6 - асфальтований джут, 7 - заповнення, 8 - дротове оплетення

Єдиної буквено-цифрової системи позначення кабельних виробів не встановлено. Існує технічне позначення матеріалів, з яких складаються елементи виробів, а також їх конструктивних особливостей. При маркуванні проводів додержуються певного порядку [50].

Перша літера вказує на матеріал, з якого виготовлена жила. Літера "А" – алюмінієва жила, літера відсутня – мідна жила. Друга літера «П» вказує, що це провід. Третя літера «П» позначає, що провід плоский, тобто що це 2 або 3 ізольованих жили, сполучені тонкою плівкою ізоляційного матеріалу. Третьої літери може не бути. Четверта літера вказує на ізоляцію жили: «В» - поліхлорвініл; «Р» - гума; «Н» - нейрит; «П» - поліетилен; паперова ізоляція не має літерного позначення.

П'ята літера позначає матеріал оболонки (цієї букви може не бути): «О» - покриття, «Ф» - фальцьована оболонка.

За числом струмоведучих жил проводи бувають одно-, дво-, три- або багатожильні; за родом матеріалу струмоведучих жил - алюмінієві, мідні, сталє-алюмінієві, сталеві; за гнучкістю - гнучкі (жила складається з великого числа тонких дротиків) і негнучкі.

За ступенем захищеності проводи бувають:

- голі (без ізоляції);
- ізольовані незахищені;
- ізольовані захищені (захищені від механічних пошкоджень).

Кабель складається зі струмоведучих жил, ізоляції струмоведучих жил, оболонки, броні, захисного антикорозійного покриття (рис. 2.2).

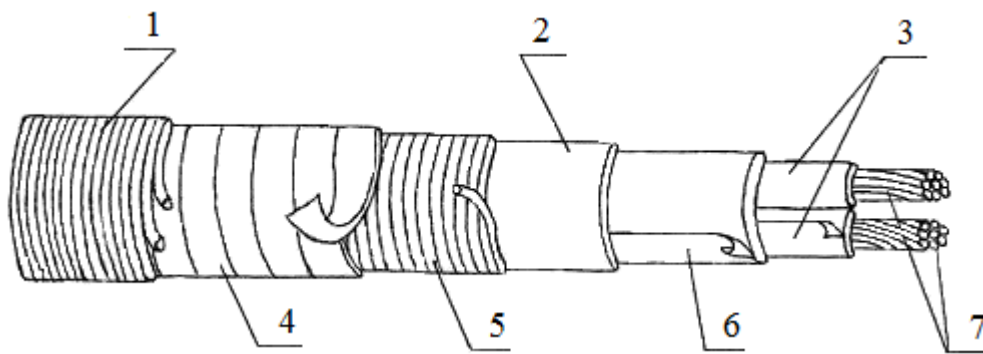


Рисунок 2.2 – Конструкція кабелю

- 1 – джутове оплетення, 2 – свинцева оболонка, 3 – пряжа, 4 – сталєва броня,  
5 – джутове оплетення, 6 – кабельний папір, 7 – жили

Струмоведучі жили виконують з міді або алюмінію. Кожна жила ізольована від інших (3, 4 жили - силовий кабель, >10 - контрольні, сигнальні кабелі). Для ізоляції струмоведучих жил використовуються ті ж матеріали, що і для ізоляції проводів, але паперова ізоляція може бути просочена речовиною з трансформаторного мастила та каніфолі. Для герметичної оболонки використовуються ті ж матеріали, що і для оболонки проводів, а

також свинець. Броня намотується поверх оболонки по бітумній або іншій подушці. Матеріал - сталева плоска стрічка або сталевий круглий дріт. Буває не у всіх кабелів.

Захисне антикорозійне покриття може задаватися поверх броні. Матеріал: крепірований папір, просочена кабельна пряжа, стрічки поліхлорвінілові, поліацетатні, поліамідні, скляна пряжа (негорюча). Більшість покривів є горючими.

Маркування кабелів виконується таким чином. Перша літера указує на матеріал жили: «А» - алюмінієва жила, немає літер - мідна жила. Друга літера указує на матеріал герметичної оболонки: «А» - алюміній; «С» - свинець; «В» - поліхлорвініл; «Н» - нейрит. Третя літера (вказує на матеріал ізоляції жил: «Р» - гума; «В» - полівінілхлорид; «П» - поліетилен; «Н» - нейрит; немає літери - паперова ізоляція. Четверта літера вказує на матеріал броні: «Б» - броня зі сталеві стрічки; «К» - броня з круглого сталевого дроту; «П» - броня з дроту. Остання літера вказує на покриття: «Г» - відсутнє захисне антикорозійне покриття; «У» - поліпшена якість просочення.

Маркування шнурів схоже на маркування проводів, тільки на початку знаходиться літера «Ш». Для виготовлення шнурів використовують тільки мідні жили.

Для об'єктів житлового і громадського призначення слід застосовувати кабелі і проводи з мідними жилами [20, 29].

Мідь завдяки цінним технічним властивостям широко застосовуються в наш час. Завдяки електропровідності мідь являється одним з найважливіших матеріалів для провідників [50].

Мідь – хімічний елемент I групи періодичної системи Д. І. Менделєєва. Її порядковий номер 29, атомна маса 63,54. Мідь – метал червоного кольору, температура плавлення 1083°C, а кипіння – 2567 °C. Кристалічна решітка – гранецентрована кубічна (ГЦК), з періодом  $a = 3,6074 \text{ \AA}$ . Мідь належить до важких металів, її щільність при 20 °C – 8,94 г/см<sup>3</sup>. Залежно від чистоти мідь

виготовляють таких марок: М00 (99,99 %), М0 (99,95 %), М1 (99,9 %), М2(99,7 %), М3 (99,50 %) [53, 54, 55].

До недоліків міді слід віднести її порівняно високу щільність, а також схильність до окислення при підвищених температурах, корозійного розтріскування і водневої хвороби.

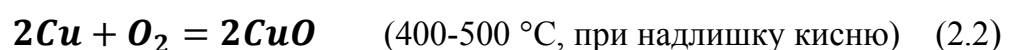
Метали є кристалічними матеріалами, тобто характеризуються тривимірної періодичністю в розташуванні атомів. При цьому конкретне розташування атомів і відстані між ними різні для різних металів, сукупність атомів утворює кристалічну решітку. Характеристикою кристалічної структури є елементарна комірка - паралелепіпед мінімальних розмірів, у вершинах, а також усередині якого розташовані атоми і паралельним перенесенням якого можна цілком заповнити простір [56, 57].

При нагріванні, внаслідок взаємодії міді з киснем, ця структура певним чином змінюється [57, 58]. Так, за температури  $> 200\text{ }^{\circ}\text{C}$  відбувається утворення оксиду міді (I), а за температури  $400\text{-}500\text{ }^{\circ}\text{C}$  оксид міді (II).

Оксид міді (I) (Куприт) – термічно стійка сполука темно-червоного кольору (великі кристали) або жовтого (дрібні кристали), температура плавлення якої становить  $t_{пл}=1240\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

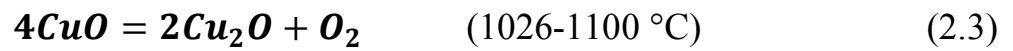


Оксид міді (II) (Тенорит) – коричнево-чорного кольору, при проколюванні розкладається, плавиться тільки під надлишковим тиском  $O_2$   $t_{пл}=1148\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $p$ ).



При високих температурах в оксид міді (II) можуть дисоціюватися й її окисли, що знаходяться на поверхні провідника:





При нагріванні провідника струмом КЗ поблизу зони розплаву відбувається ріст зерен металу і коагуляція закису міді з розподілом її по границях збільшених зерен [57].

Під час незначного нагрівання, коли термодинамічна температура металу не перевищує  $0,2 T_n$  (де  $T_n$  – термодинамічна температура плавлення металу) відбувається віднова.

Відновою називають зменшення густини дефектів кристалічної будови наклепаного металу під час нагрівання без помітних змін структури, видимої в оптичному мікроскопі. В результаті метал переходить до більш рівноважного стану, що супроводжується незначним зниженням твердості й міцності та деяким зростанням пластичності. Віднова проходить через дві стадії:

- відпочинок;
- полігонізацію.

Полігонізація полягає у нагріванні металу до температури  $(0,2 \dots 0,3) T_n$  з утворенням в межах окремого кристалу фрагментів і блоків (полігонів), розділених малокутовими границями.

Під час дослідження мікроструктури мідних провідників не можна знехтувати таким поняттям, як рекристалізація.

Рекристалізація – процес зародження та росту нових недеформованих зерен під час нагрівання наклепаного металу до заданої температури. Рекристалізація відбувається при вищій температурі, ніж віднова [57, 59]. Є дві стадії рекристалізації:

- первинна (рекристалізація обробки);
- збиральна.

*Первинна рекристалізація* полягає в зародженні у деформованій структурі недеформованих зерен та їх подальшому рості. Рушійним фактором первинної рекристалізації є енергія, акумульована в наклепаному металі, який намагається зменшити її й перейти до стабільнішого стану структури з нових недеформованих зерен. Перші зародки нових зерен виникають у найбільш деформованих зонах, переважно на границях початкових зерен і в смугах ковзання. Цей процес можна значно інтенсифікувати, збільшуючи температуру й деформацію металу.

Зерна ростуть внаслідок міграції атомів із деформованих зон до зародків новоутворених зерен. Первинна рекристалізація закінчується повною заміною початкових зерен новими, переважно з іншою кристалографічною орієнтацією (рис. 2.3). Новоутворені зерна мають невелику кількість лінійних і точкових дефектів. У результаті наклеп майже зовсім знімається, міцність і твердість металу істотно зменшуються, а пластичність зростає.

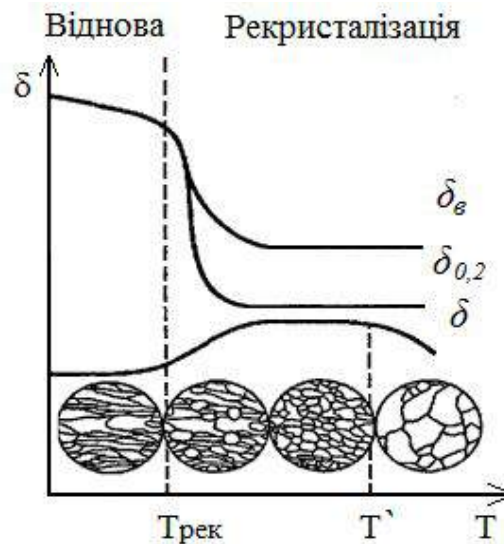


Рисунок 2.3 – Вплив нагрівання на структуру та механічні властивості міді де:

$\delta_v$  – напруженість, яка відповідає найбільшому навантаженню, яке призводить до руйнування взірця (межа міцності);  $\delta_{0,2}$  – напруження, яке викликає остаточну деформацію рівну 0,2 % називають умовною межею текучості;  $\delta$  – відношення навантаження в даний момент часу до площі поперечного перерізу взірця

Найнижча температура, при якій починається рекристалізація, називається температурним порогом рекристалізації (2.5). Названа температура не є фізичною сталою даного металу, як, наприклад, температура плавлення. Температурний поріг залежить від ступеня попередньої деформації, часу нагрівання, чистоти металу, легувальних елементів тощо. Величина порогу знижується з підвищенням ступеня деформації і тривалості нагрівання.

Термодинамічна температура порогу рекристалізації пов'язана з термодинамічною температурою плавлення  $T_{\text{п}}$  металу залежністю:

$$T_{\text{рек}} = \alpha \cdot T_{\text{п}} \quad (2.5)$$

На коефіцієнт  $\alpha$  найбільше впливає чистота металу і пластична деформація. Для металів технічної чистоти  $\alpha = 0,4$  і знижується зі збільшенням пластичної деформації. Для особливо чистих металів  $\alpha = 0,1 \dots 0,2$ , а для твердих розчинів  $\alpha = 0,5 \dots 0,6$  і більше.

При незначній попередній пластичній деформації рекристалізація не відбувається. Та мінімальна деформація, вище за яку починається первинна рекристалізація, є критичною деформацією. Наприклад, критична деформація для алюмінію становить близько 2 %, для заліза й міді – близько 5 %. У металах із незначною попередньою деформацією утворюються найбільші рекристалізовані зерна, а в міру її зростання розміри рекристалізованого зерна зменшуються. Після закінчення первинної рекристалізації триває ріст новоутворених зерен, особливо, коли збільшувати час витримки або температуру. Важко чітко встановити межу між первинною і збиральною рекристалізаціями.

Ріст одних рекристалізованих зерен за рахунок сусідніх називається збиральною рекристалізацією.

Великі зерна ростуть за рахунок дрібних внаслідок переходу атомів через границі зерен. Ріст зерен особливо активізується з підвищенням температури [57, 59, 60].

Залежність величини площі рекристалізованих зерен від температури й ступеня деформації наочно простежується на діаграмі рекристалізації (рис. 2.4).

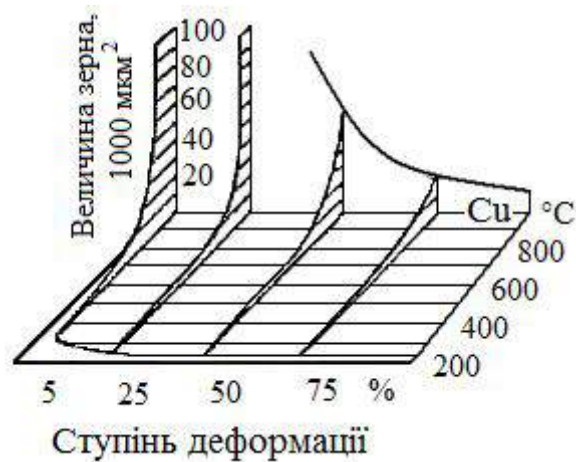


Рисунок 2.4 – Діаграма рекристалізації міді

Рекристалізація і процеси віднови та полігонізації являють собою найбільш поширений вид структурних змін, що відбуваються при нагріванні в металах і сплавах і неорганічних матеріалах загалом і зменшують вільну енергію системи. Будь-який зовнішній вплив, що призводить до створення тих чи інших структурних недоліків і їх градієнту або до зміни розмірів і форми зерен, призводить при нагріванні до перерозподілу і зменшення концентрації цих недоліків і збільшенню однорідності зерен структури.

Зміна структури від поверхневого шару до середини зразків вказує на характер нагрівання або на застосування хіміко-термічної обробки.

Визначення розмірів зерен проводиться або методами кількісної металографії, або шляхом зіставлення структури із заздалегідь укладеними шкалами [60, 61].

При мікроаналізі однофазових сплавів (зазвичай твердих розчинів) і чистих металів можна визначати величину зерен і відзначити існування дендритної будови.

Дендритна будова пов'язана з певною хімічною неоднорідністю, яка виникає при травленні зразка, що підлягає мікроаналізу. Якщо однофазові сплави складаються з цілком однорідних за складом зерен, то це вказує на досягнення рівноважного стану.

В багатофазових сплавах за допомогою мікроаналізу можна визначити не тільки кількість, форму і розміри включень окремих фаз, але і їх взаємний розподіл [57].

### **2.3. Особливості процесів нагрівання провідників внутрішніх електромереж електричним струмом та полум'ям**

Досвід експлуатації електромереж показує, що аварійні режими роботи електромереж або їх незадовільний технічний стан створюють умови для виникнення пожеж. Викликає стурбованість технічне перебування електроустаткування і електромереж на об'єктах житлового та громадського призначення [62-65].

Основною причиною виникнення коротких замикань є порушення ізоляції струмоведучих частин у процесі монтажу і експлуатації, викликаних тепловим старінням ізоляційних матеріалів, перенапругами електромережі, механічними ушкодженнями, впливом агресивного навколишнього середовища [66-69].

Теплове старіння ізоляції частіше виникає через перевантаження електромережі струмами, що перевищують тривало допустимі для цього перетину провідника. Відносний термін служби ізоляції визначається за емпіричним правилом, згідно з яким підвищення температури кабелю з паперовою ізоляцією на 8 °С знижує термін служби ізоляції вдвічі [30].

Старіння ізоляції характеризується зменшенням її еластичності і механічної міцності. Наслідком цього можуть бути електричний пробій ізоляції і пошкодження електроустановки, а за наявності горючої ізоляції і пожежонебезпечного середовища – пожежа або вибух [70-74].

Явища перевантаження виникають при неправильному розрахунку допустимого перерізу струмоведучих жил проводів або через додаткове підключення непередбачених проектом споживачів, механічних перевантажень на валу, неповнофазних режимів роботи двигунів і знижень напруг мережі [68].

Механічне пошкодження ізоляції проводів найчастіше виникає через недбалий монтаж (протягування проводів крізь стіни, перегородки і т.ін. без виконання відповідних правил) або внаслідок неправильної експлуатації (відсутність механічного захисту проводів в зоні дії пересувних установок тощо).

Вплив вологи і агресивних середовищ при певних умовах істотно погіршують стан ізоляції проводів. Під дією вологи на ізоляції утворюється провідний шар і з'являються струми витоку. Від тепла, що при цьому виникає, шар рідини випаровується, а на ізоляції залишаються сліди солі. При припиненні випаровування струм витоку зникає. При поновленні дії вологи процес повторюється, причому через підвищення концентрації солі провідність збільшується. Внаслідок постійно повторюваного процесу струм витоку не переривається після випаровування, а з'являються дрібні іскри. В подальшому вплив струму витоку призводить до обвуглення ізоляції і виникнення дугового розряду (неповне коротке замикання), здатного запалити ізоляцію [70].

Джерелом запалювання від електроустановок в усіх випадках є теплові прояви електричної енергії [75].

Розглядаючи версію про причетність КЗ до виникнення пожежі, першочергово розглядають питання про його первинність або вторинність.

Під первинним коротким замиканням (ПКЗ) розуміють КЗ, яке відбувається без впливу на провідник небезпечних факторів пожежі за нормальної температури навколишнього середовища. Під вторинним коротким замиканням (ВКЗ) розуміють КЗ, яке відбувається внаслідок розвитку пожежі при підвищеній температурі навколишнього середовища [76-78].

Характерною ознакою ПКЗ є оплавлення проводів та інших частин електроустановок від електричної дуги, температура якої може сягати  $4000^{\circ}\text{C}$ . У місці замикання відбувається електричний вибух рідкої перемички металу між двома замкненими провідниками, внаслідок чого утворюється велика кількість розжарених крапель, які, розлітаючись, застигають на навколишніх поверхнях. Кінці провідників набувають характерної овальної, округлої форми, форми кратера або косоного зрізу. На поверхні оплавлення через лупу можна побачити газові пори, що утворюються в режимі замикання [78].

Переріз провідника може змінюватися поблизу місця оплавлення на невеликій ділянці. На відміну від особливостей пошкодження вцілілої ізоляції внаслідок зовнішнього теплового впливу під час пожежі (обвуглення, обпалення переважно верхніх шарів) огорожувальних елементів обладнання нашаровується характерний конус від згоряння ізоляції.

Замикання провідників, прокладеної у металорукавах чи металотрубах, супроводжується наскрізним пропіканням металевої оболонки з утворенням отворів різної конфігурації і напливів металу у вигляді крапель та потовщень по краях.

Про виникнення стійкої електричної дуги свідчать послідовні сліди прогарів або пропікань у напрямі до джерела напруги або повне вигорання металевої оболонки. Це відбувається переважно за умови затримки відключення апаратів електрозахисту або пробивання ізоляції вже під час пожежі, коли металева оболонка розігріта і краще витримує електричну дугу.

Численні оплавлення на різних ділянках лінії можуть пояснюватися як наслідок затримки відключення апарата захисту і роботи комунікації протягом деякого часу в режимі перевантаження з перегрівом і розплавленням ізоляції.

Мідні жили та інші струмопровідні елементи, що мають температуру плавлення  $1083^{\circ}\text{C}$ , а також сталеві вироби, що мають температуру плавлення понад  $1400^{\circ}\text{C}$ , зазвичай після пожежі залишаються не оплавленими. Алюмінієві проводи і струмопровідні елементи здебільшого розплавляються і вигоряють (температура плавлення алюмінію становить  $660^{\circ}\text{C}$ ), на них сліди КЗ виявити просто неможливо. Проте на підлозі можуть бути виявлені застигли сліди падіння розплавленого алюмінію, якщо деталі з нього були порівняно масивними.

Якщо оплавлена ділянка мідного провідника витягнута вздовж його осі і поверхня поблизу оплавлення гладка, то це свідчить про ПКЗ.

При аварійному режимі різке зменшення опору електричної мережі викликає значне зростання електричного струму, що відрізняється від номінального, та зменшення напруги. Таке зростання струмів призводить до появи температурних та механічних явищ, нагрівання жил кабельної продукції викликає перегрівання ізоляції та її розкладання. Отже, величина струму і час його дії будуть визначати можливість механічного руйнування провідників і займання ізоляції, її горіння залежно від пожежонебезпечних параметрів.

Особливо небезпечні замикання фаз на металеві конструкції, які мають значний опір та істотно обмежують струми КЗ. Місця з нещільними контактами на шляху протікання струмів будуть інтенсивно нагріватися та іскрити. Очевидно, що при поєднанні металевих конструкцій з горючими конструкціями і зі спалимими матеріалами з'явиться можливість полум'яного горіння. Різке зниження напруги впливає на роботу апаратів,



порушуючи технологічний процес і номінальний режим роботи електроустановок, викликаючи аварії та пожежі.

#### **2.4. Вибір режимів експериментальних досліджень для виявлення причетності внутрішніх електромереж до виникнення пожежі**

На основі обробки існуючих методик, монографій та публікацій вибрано найбільш нерозкриті питання і поставлено задачі для проведення експериментальних досліджень. Вибрано найбільш визначальні варіанти виконання електричних мереж та їх режимів [17], з метою отримання граничних випадків [79-81] та скорочення загальної кількості експериментів.

Таким чином, проведено такі дослідження:

- поведінки оздоблювальних будівельних матеріалів при їх нагріванні різноманітними струмовими навантаженнями проводів різної конструкції, а також зміни температури на поверхні матеріалу залежно від часу протікання і величини струму у провідниках.
- зміни структури мідних провідників внутрішніх електричних мереж житлових та громадських будівель у яких створювалися режими короткого замикання при різних температурах навколишнього середовища (19 – 1000 °C).
- зміни структури мідних провідників внутрішніх електричних мереж житлових та громадських будівель у яких створювалися режими короткого замикання, яке виникало через пошкодження ізоляції полум'ям.

Дослідження виконувались на базі науково-дослідної лабораторії «Пожежної безпеки» Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.

Як елементи внутрішніх електричних мереж використовувались мідні провідники з гумовою та полівінілхлоридною ізоляцією, площею поперечного перерізу 1,5 – 2,5 мм<sup>2</sup> [17, 29]. У цих провідниках створювалися

різні струмові режими при різній температурі навколишнього середовища.

Для дослідження поведінки горючих оздоблювальних матеріалів при відкритому прокладанні на їх поверхні мідних провідників, у яких по черзі створювались довготривалі струмові перевантаження та КЗ, використовується електроустановка (рис. 2.5), яка містить: автотрансформатор з регульованою напругою від 0 до 240 В, силовий трансформатор потужністю 4,5 кВА з напругою на первинній обмотці  $U_{\text{п}}=220$  В і напругою на вторинній обмотці  $U_{\text{в}}=5$  В; трансформатор струму типу ТК-20 з параметрами:  $I_1/I_2 = 300/5$  А; вимірювальні прилади (амперметри, вольтметри); струмовимірювальні щипці типу РК-120 з діапазоном вимірювання 0 – 300 А змінного струму і класом точності 2,5; стіл з паранітовою плитою на поверхні якої виведені контактні затискачі.

У провіднику створювали струмові навантаження та фіксували: час, значення струму і температура на поверхні матеріалу.



Рисунок 2.5 – Електроустановка для проведення досліджень

Останнім часом на ринки потрапляє велика кількість будівельних та оздоблювальних матеріалів з невідомими характеристиками стосовно пожежної безпеки [82, 83, 84]. Найбільш вживаними є:

*Пластикова вагонка* - являє собою неплавку термореактивну пластмасу з комірчастою структурою, порожнечі і пори якої заповнені газом з низькою теплопровідністю. Через невисоку температуру спалаху (від 325°C), сильну димоутворювальну здатність, а також високу токсичність продуктів горіння, до числа яких входить ціаністий водень (синильна кислота), має підвищену пожежну небезпеку. При виробництві вагонки активно застосовуються антипірени, які знижують займистість, проте значно підвищують токсичність продуктів горіння.

*Тирсоплита* відноситься до групи горючих, а її пожежна небезпека підвищується через додавання різних полімерів. Наприклад, лакофарбові матеріали не тільки підвищують горючість, але і сприяють більш швидкому поширенню полум'я по поверхні плити, збільшують димоутворення і токсичність. У цьому випадку до СО (чадного газу) - основного продукту горіння органічних матеріалів - додаються й інші токсичні речовини.

*Гіпсокартон* із зовнішнім покриттям з декоративної плівки. Завдяки гіпсовій основі гіпсокартон відноситься до негорючих матеріалів, а декоративна плівка на основі полімерів переводить його в групу Г1, що дозволяє застосовувати його для обробки приміщень практично будь-якого функціонального призначення, включаючи вестибюлі. Сьогодні гіпсокартон повсюдно застосовується для будівництва перегородок - самостійних будівельних конструкцій.

*Фанера* відноситься до групи горючих, а її пожежна небезпека підвищується при додаванні різних полімерів. Для зниження пожежної небезпеки органічних будівельних матеріалів, як і у випадку з полімерними речовинами, їх обробляють антипіренами. Нанесені на поверхню, під впливом високих температур, антипірени можуть перетворюватися в піну або виділяти негорючий газ. В обох випадках вони утруднюють доступ кисню, перешкоджаючи займанню деревини та поширенню полум'я.

*Пінополістирол (Пінопласт)* — легкий ніздрюватий матеріал, що складається з атомів водню і вуглецю. У вигляді плит середньої щільності вони застосовуються для теплоізоляції зовнішніх огорож, фундаментів і перегородок. Одним з головних недоліків цієї категорії матеріалів є те, що при деструкції вони виділяють набір високотоксичних сполук, в який, крім чадного газу, входить формальдегід, фенол, аміак та інші речовини, котрі являють собою безпосередню загрозу життю і здоров'ю людей.

З метою визначення поведінки вище згаданих матеріалів, ми відкрито проклали на їх поверхні мідні провідники внутрішніх електромереж, у яких створювались довготривалі струмові перевантаження.

Результати експериментальних дослідження наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Режимы нагрівання електричних провідників, прокладених на поверхні оздоблювальних матеріалів

Час, хв	Струм, А	Вагонка пластикова	Лакована 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

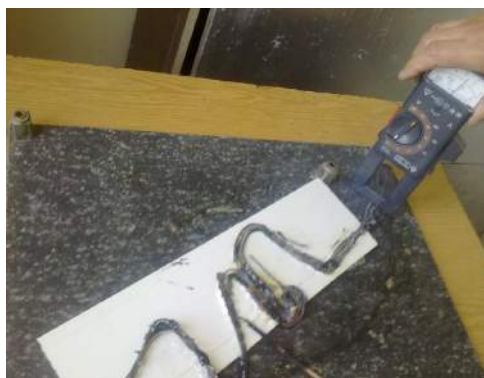
\*\*\* – відбулось полум'яне горіння

Експеримент тривав 13 хвилин, причому через кожен хвилину струм збільшувався на 5 А; початкова температура дорівнювала 20 °С.

Під час проведення експериментів по поверхні оздоблювальних матеріалів ми прокладали мідний ізолюваний провідник, під яким встановлювали термопару для контролю температури нагрівання поверхні матеріалу (рис. 2.6-2.8).

В результаті дослідження поведінки пластикової вагонки, вже на 4 хвилині при температурі на поверхні 50 °С ізоляція почала топиться, на 7 хвилині при температурі 102 °С плавиться вагонка, а на 13 хвилині при температурі 198 °С провідник розплавився, полум'яного горіння не відбулося (рис. 2.6 а).

Під час дослідження поведінки фанери, на 4 хвилині при температурі на поверхні 43 °С починає топиться ізоляція в місці з'єднання, на 6 хвилині при температурі 62 °С починає топиться 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 (рис. 2.6 б).



а)



б)

Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд взірців оздоблювальних матеріалів з якими проводились експерименти: а – пластикова вагонка; б – фанера

Під час дослідження поведінки лакованої тирсоплити, на 8 хвилині при температурі на поверхні  $61^{\circ}\text{C}$  ізоляція почала інтенсивно топиться, на 10 хвилині і при температурі  $75^{\circ}\text{C}$  чорніє лак, на 13 хвилині при температурі  $115^{\circ}\text{C}$  провідник розплавився, плита обвуглилась, полум'яного горіння не відбулося (рис. 2.7 а).

Дослідження поведінки гіпсокартону показало, що на 4 хвилині при температурі на поверхні  $43^{\circ}\text{C}$  починається диміння, на 7 хвилині і при температурі  $70^{\circ}\text{C}$  починає топиться ізоляція, на 8 хвилині при температурі  $83^{\circ}\text{C}$  починає жовтіти декоративна плівка, на 17 хвилині при температурі  $170^{\circ}\text{C}$  провідник розплавився, плівка не зайнялась (рис. 2.7 б).



а)



б)

Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд зрізці оздоблювальних матеріалів з якими проводились експерименти: а – лакована тирсоплита; б – гіпсокартон

При дослідженні поведінки пінополістиролу, вже на 4 хвилині при температурі на поверхні  $31^{\circ}\text{C}$  починає плавитись пінопласт відкритими проводами (рис. 2.8 а), на 13 хвилині при температурі  $130^{\circ}\text{C}$  провідник розплавився, а пінопласт зайнявся, відбулося полум'яне горіння (рис. 2.8б).



Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд пінополістиролу: а – до експерименту;  
б – після експерименту

З метою узагальнення була побудована графічна залежність зміни температури нагрівання поверхні матеріалу від часу протікання струму у провідниках і виду оздоблювального матеріалу (рис. 2.9).

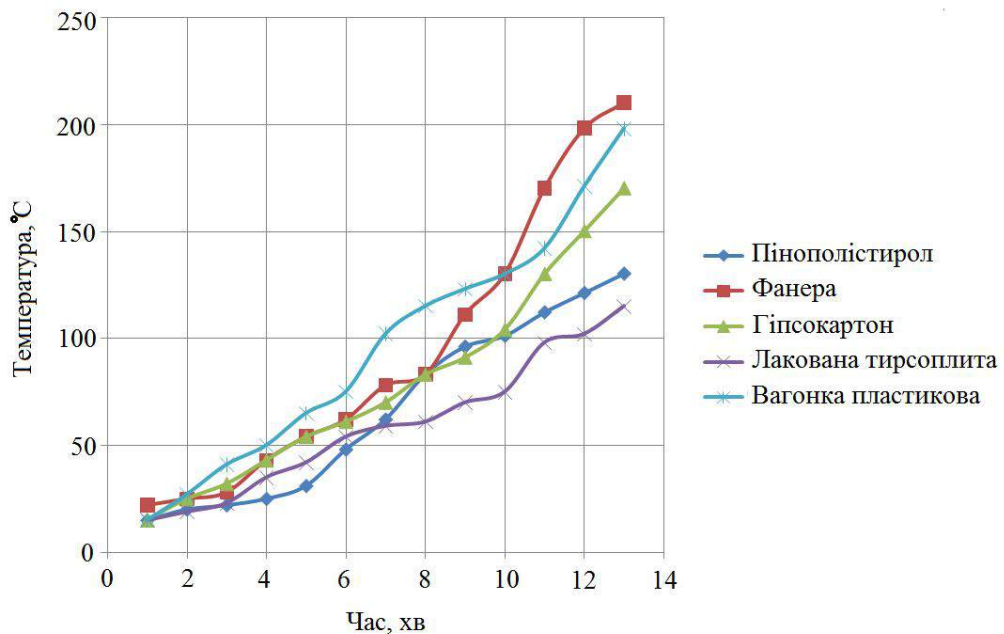


Рисунок 2.9 – Графічна залежність між температурою та часом протікання струму у провідниках

З рисунка 2.9 видно, що до 6 хвилини усі взірці нагріваються рівномірно в діапазоні 50-70 °C, з 6 до 10 хвилини починається різке



збільшення температури на поверхні пластикової вагонки до 130 °С, менш стрімко, але також до 130 °С на 10 хвилині нагрілась фанера, найнижча температура на 10 хвилині була на поверхні лакованої тирсоплити 75 °С. На 13 хвилині найвища температура була на поверхні фанери 210 °С, та пластикової вагонки 198 °С, найнижча – на поверхні лакованої тирсоплити 115 °С.

Для встановлення залежностей зміни мікроструктури мідних провідників внутрішніх електричних мереж житлових та громадських будівель при різних температурах навколишнього середовища виконували експериментальні дослідження з допомогою установки, яка складається з: муфельної печі "МП-2УМ" потужністю 2,6 кВт з температурними межами 0-1000 °С, зварювального трансформатора: I=30-60 А, U=220/50 В; P=5 кВА, яким створювались струмові навантаження величиною до 250 А. Для контролю температури використовували температурний перетворювач ХА «хромель-алюмель» з вторинним приладом і регулятором температури РТ-0102 на семісторі.

Суть експериментального дослідження полягає у визначенні впливу температури провідника, при якій відбулось коротке замикання на його мікроструктуру. Під час проведення експериментальних досліджень провідник під напругою поміщається у муфельну піч, витримується впродовж 15 хвилин і закорочується. Виконання дослідів проводиться за такою послідовністю табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Умови проведення експериментів

№ з/п	Температура в печі T, °С	Час перебування провідника в печі до КЗ, τ хв	Час перебування провідника в печі після КЗ τ, хв
1.	19	15	-
2.	250	15	-
3.	250	15	20
4.	300	15	-
5.	300	15	20

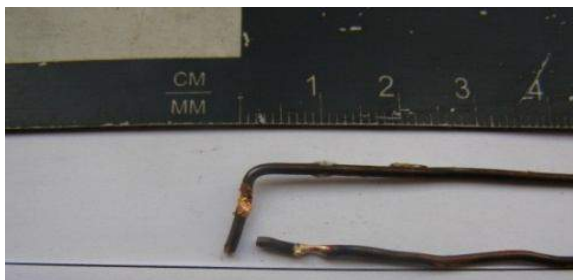


## Продовження таблиці 2.2

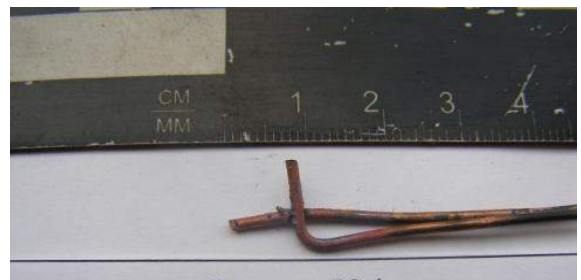
6.	400	15	-
7.	400	15	20
8.	600	15	-
9.	600	15	20
10.	800	15	-
11.	800	15	20
12.	950	15	-
13.	950	15	20
14.	400	15	Помістили у воду $T=10\text{ }^{\circ}\text{C}$
15.	600	15	Помістили у воду $T=10\text{ }^{\circ}\text{C}$
16.	800	15	Помістили у воду $T=10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Після проведення експерименту вилучались ділянки провідників з оплавленнями розміром 50-100 мм, з яких в подальшому виготовлялись шліфи (рис. 2.10-2.17).

Взірці, які були відібрані для дослідження.

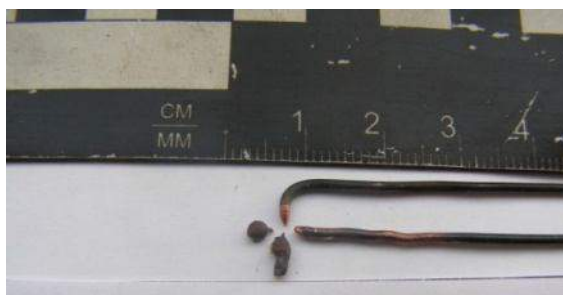


а)

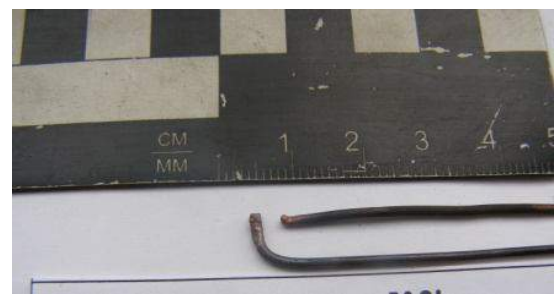


б)

Рисунок 2.10 – Взірці провідників електричної мережі, в яких відбулось КЗ при температурі  $19\text{ }^{\circ}\text{C}$



а)



б)

Рисунок 2.11 – Взірці провідників, в яких відбулось КЗ при температурі навколишнього середовища  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; а) провідник нагрівали 15 хв до КЗ і вилучали; б) провідник нагрівали 15 хв до КЗ і витримували 20 хв після КЗ

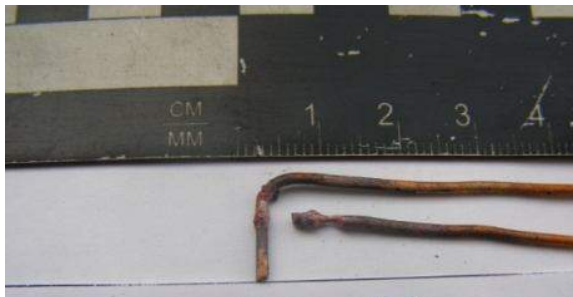


а)

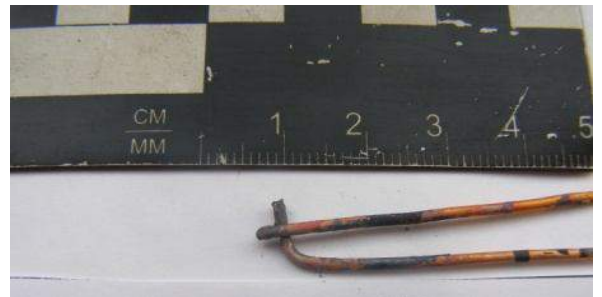


б)

Рисунок 2.12 – Взірці провідників, в яких відбулось КЗ при температурі навколишнього середовища  $300^{\circ}\text{C}$ ; а) провідник нагрівали 15 хв до КЗ і вилучали; б) провідник нагрівали 15 хв до КЗ і витримували 20 хв після КЗ

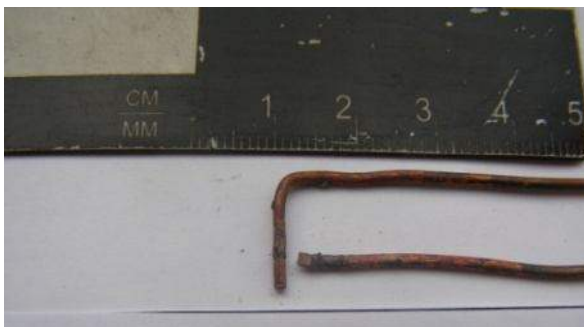


а)



б)

Рисунок 2.13 – Взірці провідників, в яких відбулось КЗ при температурі навколишнього середовища  $400^{\circ}\text{C}$ , а) провідник нагрівали 15 хв до КЗ і вилучали; б) провідник нагрівали 15 хв до КЗ і витримували 20 хв після КЗ

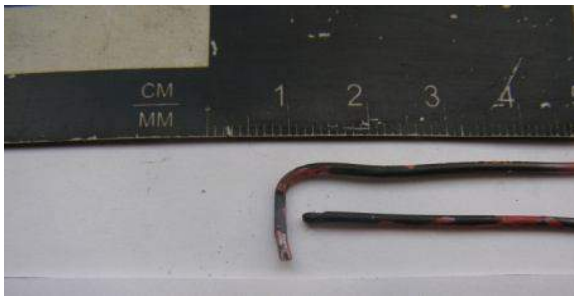


а)

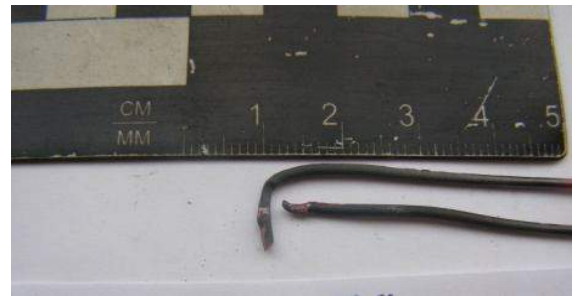


б)

Рисунок 2.14 – Взірці провідників, в яких відбулось КЗ при температурі навколишнього середовища  $600^{\circ}\text{C}$ , а) провідник нагрівали 15 хв до КЗ і вилучали; б) провідник нагрівали 15 хв до КЗ і витримували 20 хв після КЗ

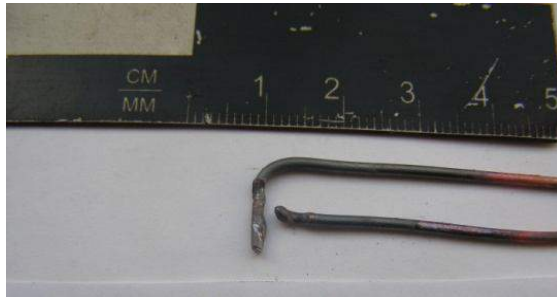


а)

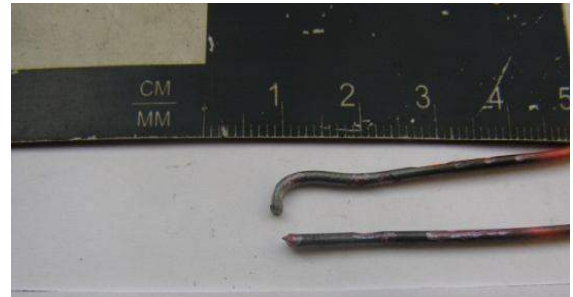


б)

Рисунок 2.15 – Взірці провідників, в яких відбулось КЗ при температурі навколишнього середовища 800°C: а) провідник нагрівали 15 хв до КЗ і вилучали; б) провідник нагрівали 15 хв до КЗ і витримували 20 хв після КЗ



а)



б)

Рисунок 2.16 – Взірці провідників, в яких відбулось КЗ при температурі навколишнього середовища 950°C: а) провідник нагрівали 15 хв до КЗ і вилучали; б) провідник нагрівали 15 хв до КЗ і витримували 20 хв після КЗ

Також для порівняння було проведено ряд експериментів у відкритому полум'ї. Для цього створювалось модельне вогнище класу А (рис. 2.17), над яким відкрито прокладались мідні провідники 1,5-2,5 мм<sup>2</sup> з гумовою ізоляцією, навантаження провідників створювалось зварювальним трансформатором. Після КЗ провідники вилучались і з них відбирались взірці для виготовлення шліфів (рис. 2.18).



Рисунок 2.17 – Модельне вогнище, над яким прокладались провідники



а)



б)

Рисунок 2.18 – Взірці провідників, в яких КЗ відбулось після згоряння ізоляції у полум'ї

## 2.5. Методи експериментальних досліджень провідників внутрішніх електричних мереж житлових та громадських будівель

Питання про можливу причетність КЗ до пожежі звичайно виникає в тому випадку, коли в згорілому приміщенні знаходять провідники зі слідами оплавлення [85, 86]. Однак оплавлення провідників поряд зі струмами КЗ можуть бути викликані і зовнішнім тепловим впливом.

Найчастіше в ході розслідування пожеж, які виникають на об'єктах різного призначення і, особливо зі значними матеріальними збитками та з людськими жертвами, призначається пожежно-технічна експертиза. Основними завданнями пожежно-технічної експертизи є встановлення характеристик середовища в якому відбулась пожежа, джерела запалювання

та причини їх виникнення. Велика кількість пожеж, які виникають з вини електроустановок, зокрема пов'язаних з аварійними режимами та перевантаженнями, потребує в'яснення однозначної версії причетності цих режимів в електроустановках та електромережах до виникнення пожеж. При цьому застосовують кілька методів досліджень [87], в тому числі на підставі аналізу структури електричних провідників, які були в умовах пожежі. За їх результатами можна визначити первинність або вторинність короткого замикання електромережі тобто, до виникнення пожежі призвело замикання чи замикання сталося внаслідок пожежі [88].

Майже всі фізико-хімічні методи ґрунтуються на можливості реєструвати структурні перетворення, які відбуваються під впливом високих температур та безпосередньо полум'я на пожежах.

Для дослідження мідних провідників із оплавленнями використовують метод металографічного аналізу, метод рентгеноструктурного фазового аналізу та метод локального рентгеноспектрального аналізу.

### **2.5.1. Метод металографічного аналізу провідників, нагрітих електричним струмом та полум'ям**

Металографічний аналіз використовується для вивчення кристалічної структури металу. За допомогою металографічного аналізу вивчаються зміни макро- і мікроструктури металів і сплавів у зв'язку зі зміною їхнього хімічного складу [89-94].

Металографія на сьогодні має в своєму розпорядженні багатий арсенал засобів і методів вивчення структури і засобів металів. Наприклад, світлові та електронні мікроскопи, що дозволяють здійснювати металографічні дослідження при кімнатній температурі. Для вивчення змін структури металів в процесі нагрівання до високих температур застосовують спеціальні високотемпературні мікроскопи.

Металографія дає змогу встановлювати взаємозв'язок між структурою і властивостями металевих матеріалів. Встановлюючи закономірності утворення структури, металографія прогнозує властивості нових сплавів.

Крім закономірностей утворення структури, металографія вивчає умови і причини виникнення при кристалізації, пластичної деформації і рекристалізації текстури металів, яка обумовлює анізотропію властивостей полікристалічного матеріалу [57].

Вивчення структури металу в металографії проводять на спеціально підготовлених плоских і гладких поверхнях - шліфах. Приготування шліфа полягає в шліфовці і подальшій поліровці металу [90, 91].

Наступним етапом металографічного процесу є виявлення структури. Найчастіше – це хімічне травлення. При цьому поверхню шліфа піддають дії спеціального реактиву, в результаті чого виявляються особливості хімічного і фазового складу і кристалічної будови (макроструктура і мікроструктура) - межі зерен, різні фази, неметалеві включення, поверхневі шари, пори, тріщини та ін. Ця мікроструктура дає надзвичайно цінну інформацію, вона змінюється після нагрівання й охолодження сплаву за різними режимами. За допомогою цього виду дослідження можна визначити температуру, до якої нагрівався провідник, що має вагоме значення при визначенні природи оплавлень мідних проводів, оскільки дає змогу зробити висновок про причетність електричних режимів до виникнення пожежі.

Металографія включає в себе: якісну; кількісну; стереометричну [94].

В металографічній практиці форма перетинів мікрочастинок (або самих мікрочастинок) оцінюється головним чином чисто якісними поняттями. Часто застосовується напівкількісна оцінка умовними балами за допомогою шкал структур, що представляють довільний набір тих же визначень якісної металографії, розташованих в певній послідовності.

Кількісна металографія займається вивченням кількісних характеристик мікроструктури. Основні операції кількісної металографії -

підрахунок, вимірювання та класифікація елементів, що знаходяться в полі зору. Під елементами просторової мікроскопічної будови розуміють різні мікрочастинки (зерна, кристаліти, включення, виділення та ін.), а також точкові, лінійні, ареальні (площинні) точки, лінії і поверхні стику мікрочастинок. Результатом операцій кількісної металографії можуть бути, зокрема, кількісні параметри зерна або об'ємні частки різних фаз в структурі сплаву.

Стереометрична металографія - це комплекс методів кількісної оцінки просторової мікроскопічної будови металів і сплавів. Як узагальнення можна відзначити, що металографія взагалі є стереологічним методом якісного і кількісного дослідження структури металів і сплавів. Якісні (описові) методи дослідження структури дозволяють описати за допомогою балів або умовних позначень тип, форму, розмір і взаємне розташування виявлених фаз і структурних складових методом порівняння з раніше розробленими еталонами мікроструктур. Задача кількісної металографії полягає у вивченні характеристик просторової будови структури шляхом вимірювання численних параметрів мікроскопічного зображення.

Макроструктурний аналіз полягає у визначенні будови металу шляхом перегляду його зламу або спеціально підготовленої поверхні неозброєним оком або через лупу при невеликих збільшеннях - до 30 разів. Це дозволяє спостерігати одночасно велику поверхню і отримати уявлення про загальну будову металу і про наявність в ньому певних дефектів [55, 57].

На відміну від мікроскопічного дослідження макроскопічний аналіз не визначає подробиць будови і часто є попереднім, але не остаточним видом дослідження. Характеризуючи багато особливостей будови, макроаналіз дає змогу вибрати ті ділянки, які потребують подальшого мікроскопічного дослідження.

Мікроструктурний аналіз – це дослідження зрізів матеріалів (шліфів) за допомогою металографічних мікроскопів. Мікроструктура металів і сплавів



характеризується величиною зерна і його розміщенням, формою, розміром, кількістю і природою різних фаз [61]. Від цих факторів залежать фізико-механічні властивості сплавів.

Для виявлення мікроструктури застосовується хімічне травлення. Для цього використовують спеціально підібрані кислоти і луги, розчини та суміші. На поверхні шліфа відбувається розчинення одних фаз, окислення та зафарбовування інших. В результаті на шліфі під мікроскопом можна побачити контури зерен і окремих фаз, визначити їх взаємне розміщення; за кольором, формою і розмірами ідентифікувати наявні в сплаві фази, тобто виявити мікроструктуру сплаву.

Вивчення з допомогою оптичних мікроскопів проводять на спеціально підготовлених зразках - шліфах. Виготовлення шліфа відбувається у такій послідовності: відбір зразка, вирівнювання поверхні зрізу грубою шліфовкою, тонка шліфовка, поліровка. Зразок відбирається з тієї ділянки, яка в даному дослідженні представляє найбільший інтерес. У процесі відбору зразків не допускається перегинання, розривання «спаяних» в результаті теплового впливу дротин, значний нагрів тощо, тому що це може спричинити структурні зміни металу. Після підготовки якісної поверхні шліфа, він підлягає травленню. Травлення здійснюється протиранням поверхні ватою, змоченою в реактиві.

### **2.5.2. Метод рентгеноструктурного фазового аналізу провідників, нагрітих електричним струмом та полум'ям**

Метод рентгенофазового аналізу ґрунтується на дифракції рентгенівського проміння на кристалічному зразку [95-97]. Якісний фазовий аналіз дає змогу розділяти і ідентифікувати окремі фази гетерогенної системи. За допомогою рентгенофазового аналізу можна визначити склад неметалевих включень в металах (оксидів, сульфідів, нітридів, карбідів), розподіл легуючих елементів в багатофазових сплавах.



Кількісний фазовий аналіз є другим етапом, коли якісний фазовий склад відомий. Кількісний рентгенівський фазовий аналіз заснований на залежності інтенсивності дифракційних відображень від змісту фази в досліджуваному багатофазовому полікристалічному зразку. Однак, навіть при однаковому вмісті досліджуваної фази, інтенсивність дифракційного відбиття буде змінюватися залежно від величини середнього коефіцієнта поглинання рентгенівських променів у зразку. Цей метод дав змогу отримати інформацію про фазовий склад зразків для побудови ізотермічних перерізів діаграм стану досліджуваних зразків. Аналіз проводили шляхом зіставлення порошкових дифрактограм досліджуваних сплавів між собою та з еталонними і теоретично розрахованими (програма WinXPOW [98]) порошковими дифрактограмами бінарних та тернарних сполук і чистих компонентів.

Для точного визначення бреггівських кутів та інтенсивностей відбиття використовували порошкові дифрактометри ДРОН-4.07М (Fe  $K_{\alpha}$  - випромінювання). Уточнення параметрів профілю і структури здійснювали методом Рітвельда за допомогою комплексів програм FullProf Suite та WinCSD [99, 100]. Індексування окремих порошкограм проводили автоматично за методиками [101, 102] з використанням програм DICVOL [103] та INDP, що входить до комплексу програм WinCSD. Уточнення параметрів елементарних комірок здійснювали методом найменших квадратів за допомогою програми LATTIC комплексу програм WinCSD.

### **2.5.3. Метод локального рентгеноспектрального аналізу провідників, нагрітих електричним струмом та полум'ям**

В основі спектрального аналізу металів лежить принцип індивідуальності спектрів поглинання і випускання у різних металів [104]. Кожен метал має певний хімічний склад елементів, що і дозволяє проводити

його спектральний аналіз. Спектральний аналіз металів на сучасному етапі є одним з найбільш ефективних, точних, чутливих та інформативних видів якісного аналізу досліджуваних металів.

Локальні рентгеноспектральні дослідження проводили за допомогою скануючого електронного мікроскопа ZEISS EVO 40XVP з системою рентгенівського мікроаналізу INCA Energy (рис. 2.19).



Рисунок 2.19 – Зовнішній вигляд електронного мікроскопа

Схема скануючого електронного мікроскопа (SEM) зображена на рис. 2.20. Він складається з таких основних вузлів: електронної гармати 1...3, яка генерує електрони; електронно-оптичної системи 4...10, що формує електронний зонд і забезпечує його сканування на поверхні зразка 12; системи, яка формує зображення 11...17. SEM має вакуумну камеру, яка служить для створення необхідного вакууму в робочому об'ємі. Частинами мікроскопа є механічні вузли (шлюзи, гоніометричний стіл і т.д.), які забезпечують встановлення і переміщення зразка.

Електронна гармата складається з катода 1, циліндра Венельта 2 і анода 3. В якості катода використовується вольфрамова V-подібна спіраль.

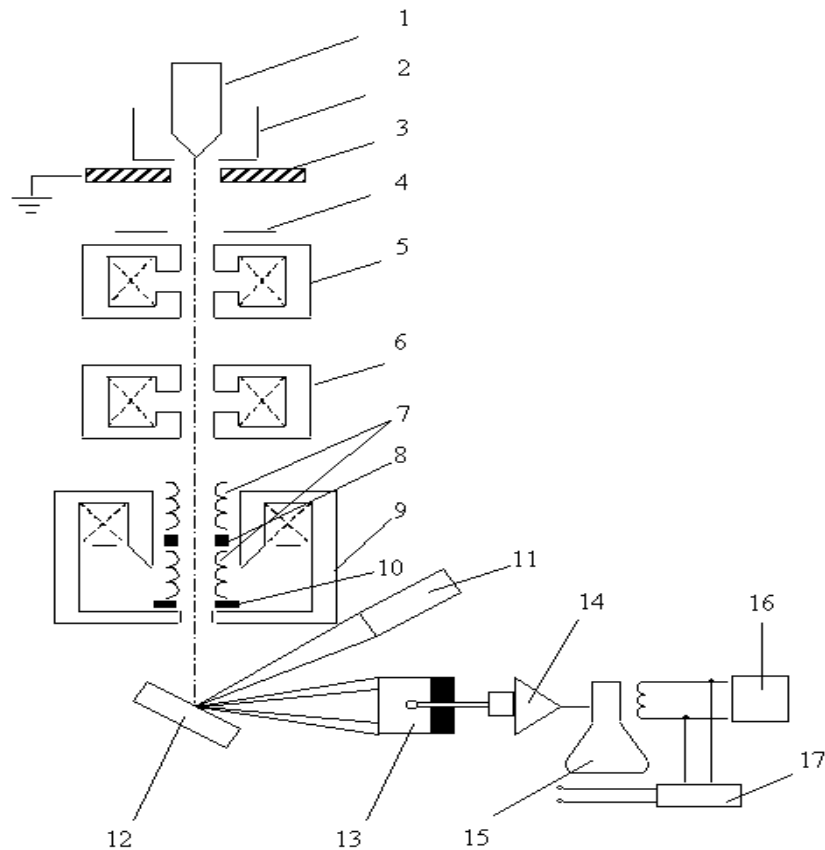


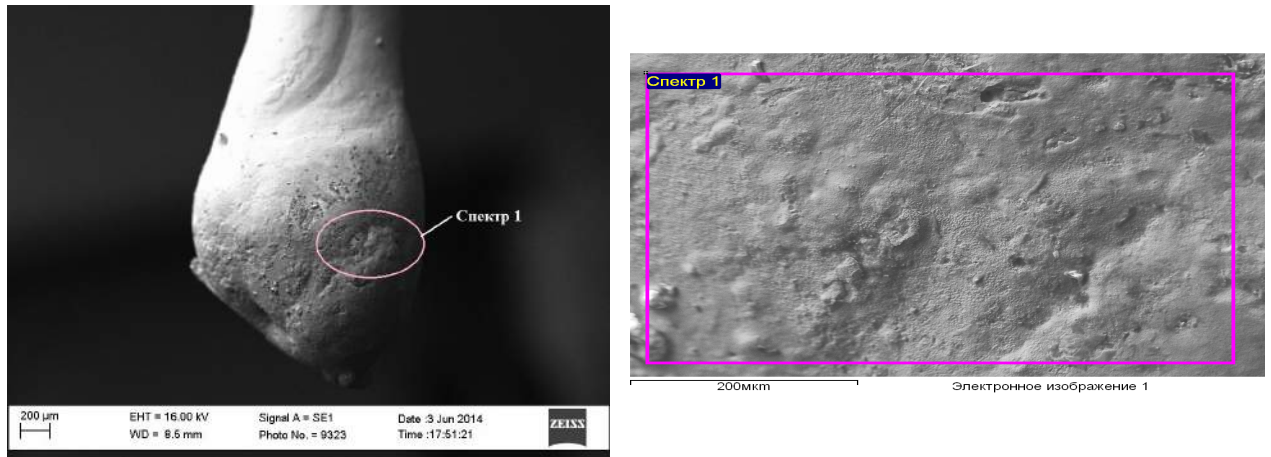
Рисунок 2.20 – Принципова схема електронного мікроскопа

При нагріванні катода прямим пропусканням струму проходить термоемісія електронів. Електрони прискорюються напругою, яка прикладена між катодом і анодом. Циліндр Венельта має високий від'ємний потенціал і служить для регулювання потоку електронів. Пучок електронів від гармати проходить через три електромагнітні лінзи 5, 6, 9. Стігматор 8 розміщений в об'єктивній лінзі 9, де також знаходяться дві пари електромагнітних котушок 7, кожна з яких служить для відхилення зонда. Котушки з'єднані з генератором 16, який забезпечує синхронність переміщення електронного зонда по зразку і електронного променя по екрану електронно-променевої трубки 15.

Зразок 12 кріпиться на предметному столику, який може переміщуватися в трьох взаємно перпендикулярних напрямках, також допускається нахил зразка до  $90^\circ$  до електронно-оптичної осі і обертання від

0 до 360°. На схемі СЕМ (рис. 2.20) представлено тільки один із можливого набору тип детектора, який використовують для реєстрації вторинних електронів 13. В детекторі потік електронів перетворюється в електричний сигнал. Для мікроаналізу використовується кремнієво-літєвий енергодисперсійний детектор.

Скануючий електронний мікроскоп ZEISS EVO 40XVP з системою рентгенівського мікроаналізу INCA Energy дозволяє досліджувати зразки при різних збільшеннях, а також досліджувати окремі ділянки (спектри) (рис. 2.21).



а)

б)

Рисунок 2.21 – Досліджуваний зразок – а та спектр -б

Вище перераховані методи на сьогодні вважаються основними при дослідженні фізико-хімічних властивостей матеріалів.

## 2.6. Висновки до розділу

1. Під час огляду місця пожежі основним доказом причини виникнення пожежі є характерні ознаки на аналізі яких базуються висновки про першопричини виникнення пожеж. Детальний аналіз існуючих методів показав, що на сьогоднішній день немає універсальних критеріїв або методів, які б давали змогу робити однозначний висновок причетності нагрівання провідників електричним струмом до виникнення пожежі. У зв'язку з цим багато питань, пов'язаних з пожежною небезпекою режимів електромереж, є невирішеними.

2. На основі існуючих методик встановлення причин виникнення пожеж, переважна більшість висновків стверджує, що КЗ є першопричиною виникнення пожеж, хоча у багатьох випадках пожежі виникають від довготривалих перевантажень. Основною причиною виникнення коротких замикань є пошкодження ізоляції струмоведучих частин у процесі монтажу і експлуатації, викликаних тепловим старінням ізоляційних матеріалів, перенапруги електромережі, механічними ушкодженнями, агресивним впливом навколишнього середовища, що досить рідко зустрічається на практиці у випадку належної експлуатації внутрішніх електромереж. У зв'язку з цим, твердження про причетність тільки КЗ до виникнення пожеж від внутрішніх електромереж є необґрунтованим.

3. На даний час використовується методика, затверджена 50 років тому, на основі якої робляться висновки про причетність внутрішніх електричних мереж до виникнення пожежі. Такий підхід призводить до похибок, які становлять біля 20 %, тому необхідно удосконалити методику шляхом використання сучасних технічних засобів та методів досліджень взірців елементів внутрішніх електромереж, яка дасть змогу підвищити достовірність отриманих результатів.

4. На основі експертних висновків, які виконуються після пожеж, встановлено, що основною причиною пожеж від електричних мереж є КЗ, яке становить 43 %. Проте аналіз режимів займання оздоблювальних матеріалів, досліджених в лабораторних умовах, показує, що їх займання

відбувається від нагрітих струмом провідників в режимі довготривалих перевантажень, а не струмами КЗ, дія яких обмежується в часі апаратами захисту. Основним напрямком профілактики пожеж від електричних мереж є недопущення довготривалих перенавантажень провідників внутрішніх електромереж житлових та громадських будівель.

5. Використовувані методи встановлення причетності внутрішніх електричних мереж базуються на аналізі ознак, які мають обмежений характер, тому дослідження потрібно проводити комплексно з урахуванням сучасних фізико-хімічних методів та технічних засобів, які дають змогу їх реалізувати. Це допоможе скоротити обсяг досліджень і відкинути сумнівні версії щодо причин виникнення пожеж.

## РОЗДІЛ 3

### ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУР ПРОВІДНИКІВ ВНУТРІШНІХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ, НАГРІТИХ ЕЛЕКТРИЧНИМ СТРУМОМ ТА ПОЛУМ'ЯМ

#### 3.1. Загальні положення

В умовах швидкого розвитку технологій з'явилися нові будівельні матеріали для внутрішнього оздоблення житлових та громадських приміщень, які знаходяться у безпосередньому контакті з елементами внутрішніх електричних мереж. Мова йде про використання сучасних, але ще малодосліджених, а в окремих випадках навіть не сертифікованих, будівельних матеріалів, які можуть легко загорятися і виділяти отруйні речовини, а процес їх горіння характеризується досить високими температурами та високою інтенсивністю [82, 83].

Електропостачальні компанії встановили ряд дозволених потужностей для побутових та інших груп споживачів, при цьому значення цих потужностей для споживачів у багатьох випадках є недостатнім. Разом з тим, проекти внутрішніх електричних мереж та елементів їх захисту виконуються з врахуванням дозволених потужностей. Після певного періоду експлуатації ці мережі не забезпечують реальних електричних навантажень через насичення житлового сектора та громадських приміщень сучасним електропобутовим та офісним обладнанням, яке приєднане до цих мереж і кількість якого невпинно зростає. Внаслідок цього, сумарне електричне навантаження у провідниках зростає і є причиною нагрівання. Це відчутно впливає на рівень пожежної безпеки вище зазначених об'єктів, зниження якого пояснюється рядом чинників, зокрема: незадовільним технічним станом електричних мереж низької напруги, що знаходяться в експлуатації, низькою якістю електроприладів і невідповідністю їх стандартам безпеки, відсутністю контролю за дотриманням правил безпечної експлуатації

електроустановок, недотриманням ППБУ під час експлуатації побутової техніки. Часто електричні мережі, попри формальну наявність апаратів захисту, по суті від пожежонебезпечних режимів захищені недостатньо [37-40].

У процесі експлуатації електричних мереж небезпечним є перегрівання проводів з горючою ізоляцією, що значно прискорює процес старіння ізоляції. Наприклад, термін служби ізоляції електродвигунів при температурі 100 °С становить 10–15 років, а підвищення температури до 150 °С скорочує цей термін до декількох місяців. Старіння ізоляції супроводжується зміною її захисних та механічних якостей. Вона стає крихкою, здатною ламатися та тріскатися, що може призвести до її пробію чи короткого замикання [48, 71-74].

### **3.2. Розробка математичної моделі динаміки нагрівання проводів внутрішніх електричних мереж**

Вході проведення експериментів ми поставили задачу дослідити процеси нагрівання мідних провідників внутрішніх електричних мереж, різного поперечного перерізу та прокладених різними способами на конструкціях будівель, електричним струмом різної густини, яка залежить від кількості одночасно приєднаних споживачів, до усталеної температури, а також визначення часу за який, цією густиною струму провідник буде нагрітий до температури, яка може викликати займання ізоляційних матеріалів та будівельних конструкцій, що знаходяться у контакті з провідником [105]. Це дозволить виявити мінімальний час нагрівання до критичної температури, а також варифікувати параметри апаратів захисту з метою недопущення перегрівання провідників понад температурні норми [106-108].



З цією метою було удосконалено математичну модель теплового балансу, яка дозволяє здійснити такі розрахунки [109-110]. Під час формування моделі прийнято допущення, що провідник нагрівається заданою густиною струму. При цьому до уваги беруть такі параметри, як питома теплоємність ( $c$ ),  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ; питома густина ( $\gamma$ ),  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ; коефіцієнт тепловіддачі з поверхні ( $\alpha = 6,14 \cdot \sqrt[5]{v^{39}}$ ),  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\cdot\text{К}}$ ;  $v$  – швидкість руху повітря м/с; радіус провідника ( $r$ ), м; питомий опір ( $\rho$ ) Ом·м; температура навколишнього середовища ( $K$ ); сила струму ( $I$ ), А та густина струму ( $j$ ),  $\frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$ , яка буде змінюватись в залежності від сили струму. Коефіцієнт тепловіддачі залежить від способу прокладання провідника. У випадку коли він розміщений під штукатуркою чи під іншими оздоблювальними матеріалами приймаємо його в межах 10÷15 [109].

В реальних умовах провідник без струму має таку ж саму температуру, що й середовище, у якому він знаходиться. При протіканні струму провідник відбирає тепло у такій кількості, яку відбирає матеріал провідника, отже рівняння теплового балансу запишеться у вигляді:

$$CV\gamma d\theta = RI^2 dt - \alpha F(\theta - \theta_c) dt, \quad (3.1)$$

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

Похідну  $d\theta$  подаємо у вигляді  $d(\theta - \theta_c)$  з врахування чого рівняння (3.1) запишемо як

$$CV\gamma d(\theta-\theta_c) = RI^2 dt - \alpha F(\theta-\theta_c) dt, \quad (3.2)$$

Якщо об'єм провідника круглого перерізу замінити через його геометричні виміри, тобто  $V = \pi r^2 l$ , то вираз (3.2) набере вигляду

$$C\pi r^2 l \gamma d(\theta-\theta_c) = RI^2 dt - \alpha F(\theta-\theta_c) dt, \quad (3.3)$$

де  $r$  – радіус провідника, *мм*;  $l$  – довжина провідника, *м*.

Після упорядкування рівняння (3.3) запишемо

$$C\pi r^2 l \gamma d(\theta-\theta_c) + \alpha F(\theta-\theta_c) dt = RI^2 dt, \quad (3.4)$$

Поділивши останнє рівняння на  $C\pi r^2 l \gamma$ , отримаємо

$$d(\theta-\theta_c) + \frac{\alpha F}{C\pi r^2 l \gamma} (\theta-\theta_c) dt = \frac{RI^2 dt}{C\pi r^2 l \gamma}, \quad (3.5)$$

або виразивши рівняння (3.5) у вигляді похідної температури за часом, диференціальне рівняння остаточно запишемо

$$\frac{d(\theta-\theta_c)}{dt} + \frac{\alpha F}{C\pi r^2 l \gamma} (\theta-\theta_c) = \frac{RI^2}{C\pi r^2 l \gamma}, \quad (3.6)$$

Відомо, що опір провідника залежить від питомого опору його матеріалу, поперечного перерізу і довжини, отже можемо його записати

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

де  $\rho$  – питомий опір провідника, Ом·м;  $S$  – площа поперечного перерізу провідника, мм<sup>2</sup>.

Підставимо вираз для опору провідника в рівняння (3.6) і врахувавши, що поперечний переріз провідника круглої форми записується у вигляді  $S = \pi r^2$ , отримаємо

$$\frac{d(\theta - \theta_c)}{dt} + \frac{\alpha F}{C \pi r^2 l \gamma} (\theta - \theta_c) = \frac{\rho \frac{1}{\pi r^2} I^2}{C \pi r^2 l \gamma}, \quad (3.7)$$

Після необхідних перетворень, рівняння (3.7) набуде вигляду

$$\frac{d(\theta - \theta_c)}{dt} + \frac{\alpha F}{C \pi r^2 l \gamma} (\theta - \theta_c) = \frac{\rho I^2}{C \gamma \pi^2 r^4}, \quad (3.8)$$

Діюче значення струму провідника  $I$  виразимо через густину струму  $j = \frac{I}{S}$ ,

де  $j$  – густина струму, А/мм<sup>2</sup>;

Врахувавши, що  $S = \pi r^2$ , густина струму у формулі (3.8) запишеться у вигляді  $j^2 = \frac{I^2}{\pi^2 r^4}$ . Тоді вираз (3.8) набере вигляду

$$\frac{d(\theta - \theta_c)}{dt} + \frac{\alpha F}{C \pi r^2 l \gamma} (\theta - \theta_c) = \frac{\rho j^2}{C \gamma}, \quad (3.9)$$

Запишемо площу поверхні провідника  $F = 2\pi r l$  і підставимо до рівняння (3.9) в результаті отримаємо

$$\frac{d(\theta - \theta_c)}{dt} + \frac{\alpha 2\pi r l}{C \pi r^2 l \gamma} (\theta - \theta_c) = \frac{\rho j^2}{C \gamma}, \quad (3.10)$$

Після скорочень отримаємо остаточне диференціальне рівняння, яке описує зміну температури провідника із зміною електричного струму густиною  $j$

$$\frac{d(\theta - \theta_c)}{dt} + \frac{2\alpha}{c\gamma r} (\theta - \theta_c) = \frac{\rho j^2}{c\gamma}, \quad (3.11)$$

Для розв'язку рівняння (3.11) знаходимо корінь характеристичного рівняння  $p = -\frac{2\alpha}{c\gamma r}$ . Для неусталеного процесу, описаного рівнянням (3.11) вільна складова запишеться у вигляді

$$(\theta - \theta_c) = A e^{-\frac{2\alpha}{c\gamma r} t}, \quad (3.12)$$

де  $A$  – стала інтегрування.

Прийнявши, що провідник нагрівається до усталеної температури, при цьому не відбувається зміни температури, вимушена складова запишеться, як

$$(\theta - \theta_c) = \frac{\rho r}{2\alpha} j^2, \quad (3.13)$$

Загальний розв'язок рівняння, враховуючи вираз (3.12) та (3.13), запишемо у вигляді

$$(\theta - \theta_c) = \frac{\rho r}{2\alpha} j^2 + A e^{-\frac{2\alpha}{c\gamma r} t}, \quad (3.14)$$

Постійну інтегрування  $A$  визначимо з рівняння (3.14) враховуючи інерційність системи, тобто незмінність температури в момент раптової

зміни струму у провіднику, яка відбувається в момент часу  $t = 0$ ,  $(\theta - \theta_c) = 0$ .

Отримаємо

$$A = -\frac{\rho r j^2}{2\alpha}, \quad (3.15)$$

Підставляючи сталу інтегрування  $A$  у вираз (3.14) та виконуючи незначні перетворення, отримаємо

$$(\theta - \theta_c)(t) = \frac{\rho r j^2}{2\alpha} \left(1 - e^{-\frac{2\alpha}{c\gamma r}t}\right), \quad (3.16)$$

остаточний розв'язок диференційного рівняння (3.14) запишемо у вигляді

$$(\theta)(t) = \theta_c + \frac{\rho r j^2}{2\alpha} \left(1 - e^{-\frac{2\alpha}{c\gamma r}t}\right). \quad (3.17)$$

Отриманий розв'язок диференційного рівняння (3.7) забезпечує розрахунок перехідних процесів зміни температури елементів електричних мереж від часу.

Для оцінки часу нагрівання провідника електричним струмом певної величини до заданої температури доцільно отримати вираз, який виходить з розв'язку попереднього рівняння.

З цією метою запишемо рівняння у вигляді

$$e^{-\frac{2\alpha}{c\gamma r}t} = 1 - \frac{(\theta - \theta_c)2\alpha}{\rho r j^2}, \quad (3.18)$$

Після логарифмування виразу (3.18) отримаємо

$$-\frac{2\alpha}{c\gamma r}t = \ln \left(1 - \frac{(\theta - \theta_c)2\alpha}{\rho r j^2}\right), \quad (3.19)$$

Поділивши останнє рівняння на коефіцієнт при часі, отримуємо час залежно від густини струму та кінцевої температури провідника у вигляді

$$t = -\frac{C_{yr}}{2\alpha} \ln \left( 1 - \frac{(\theta - \theta_c) 2\alpha}{\rho r j^2} \right). \quad (3.20)$$

### 3.3. Чисельний аналіз процесів нагрівання провідників внутрішніх електричних мереж

Використовуючи отримані моделі ми змоделювали процеси нагрівання провідника струмом, залежно від часу, для різних поперечних перерізів проводів.

Результати моделювання часу нагрівання жили провідника до допустимої тривалої температури, залежно від значення струму, який протікає у провіднику, наведено на графічних залежностях (рис. 3.1 та 3.2).

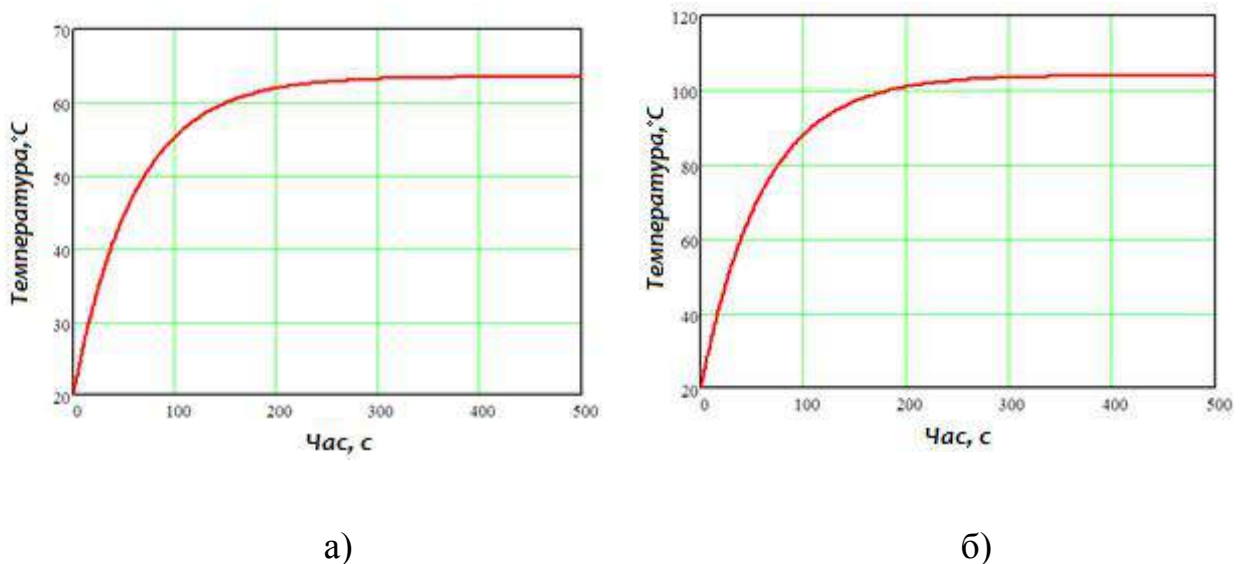


Рисунок 3.1 – Залежність часу нагрівання жили струмами:

а) значення струму – 18 А; б) значення струму – 25 А

Як видно з рис. 3.1 а, при протіканні через провідник струму 18 А, який є допустимим довготривалим для провідника з площею поперечного перерізу  $1,5 \text{ мм}^2$ , усталене значення температури дорівнює  $\theta = 63,493 \text{ }^\circ\text{C}$ , а підвищення значення струму до 25 А (рис. 3.1 б) призводить до підвищення температури жили на  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ , усталене значення температури дорівнює  $\theta = 103,86 \text{ }^\circ\text{C}$ , яка близька до температури плавлення ПВХ ізоляції [71-73].

У випадку підвищення значення струму до 100 А (рис. 3.2), усталене значення температури провідника площею поперечного перерізу  $1,5 \text{ мм}^2$  дорівнює  $\theta = 1362,4 \text{ }^\circ\text{C}$ , тобто перевищує температуру плавлення міді, яка становить  $1083 \text{ }^\circ\text{C}$ .

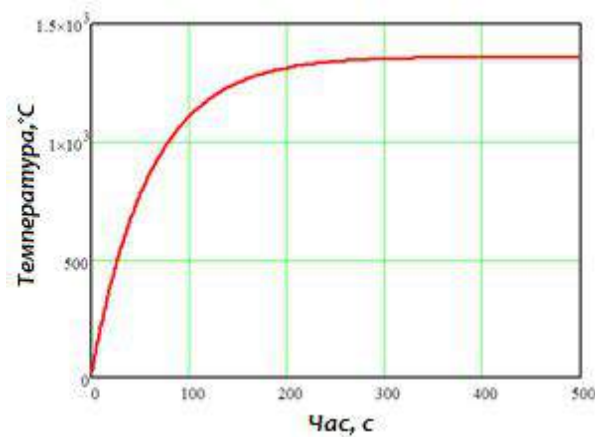


Рисунок 3.2 – Залежність часу нагрівання жили струмом 100 А.

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

З метою вибору вставок апаратів захисту елементів електричних мереж від струмового перевантаження та часу їх спрацювання, залежно від густини струму, необхідно розрахувати залежності часу нагрівання провідника до допустимої температури, яка ще не викличе загоряння. Для цього було використано вираз (3.20) з такими прийнятими умовами: допустима

температура нагрівання жил, згідно з ПУЕ,  $\theta = 65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; температуру навколишнього середовища, приймаємо  $\theta = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; коефіцієнт тепловіддачі, який залежить від способу прокладання провідника,  $\alpha = 10 \div 15 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ ; питома густина міді,  $\gamma = 8950 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;  $r$  - радіус провідника, м; питома теплоємність міді,  $C = 389 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ ;  $j$  - густина струму, яка залежить від рівня струмового навантаження,  $\frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$ ; питомий опір міді,  $\rho = 1,75 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ; для різних поперечних перерізів провідників.

Розрахункові залежності отримані за виразом (3.20) наведені у вигляді графіку на рис. 3.3.

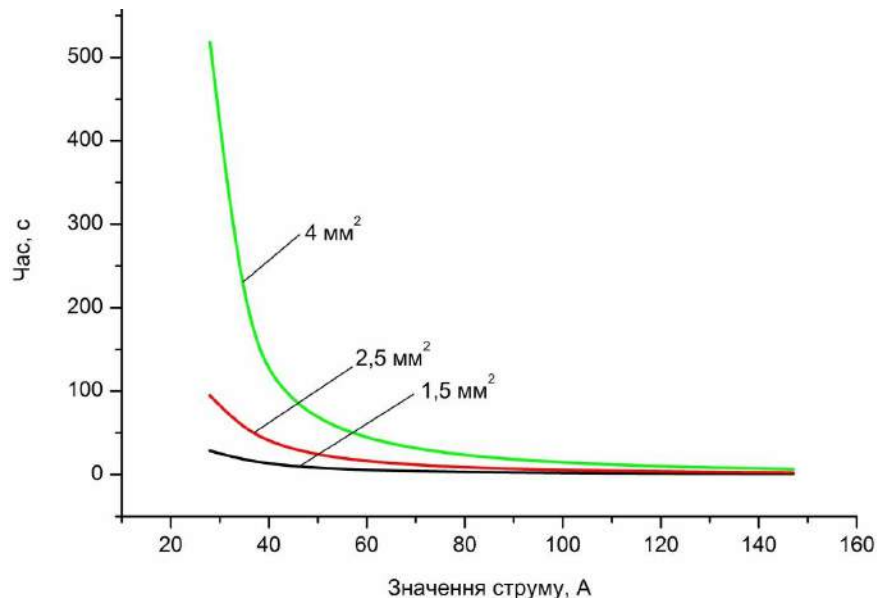


Рисунок 3.3 – Залежність часу нагрівання жили провідника від значення струму.

Із отриманої залежності випливає, що у провіднику з площею поперечного перерізу  $1,5 \text{ мм}^2$  при значенні струму  $28 \text{ А}$  нагрівання до допустимої температури відбувається за  $t = 28,638 \text{ с}$ , при значенні струму  $56 \text{ А}$  за  $t = 6,541 \text{ с}$ , а при значенні струму  $100 \text{ А}$  – за  $t = 2,096 \text{ с}$ ; для провідника з площею поперечного перерізу  $2,5 \text{ мм}^2$  при значенні струму  $28 \text{ А}$  нагрівання



до допустимої температури відбувається за  $t = 94,692$  с, при значенні струму 56 А – за  $t = 18,779$  с і при значенні струму 100 А – за  $t = 5,084$  с, провідник з площею поперечного перерізу  $4 \text{ мм}^2$  при значенні струму 28 А нагріється до допустимої температури за  $t = 517,972$  с, при значенні струму 56 А – за  $t = 51,51$  с, а при значенні струму 100 А – за  $t = 14,869$  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 [17].

### 3.4. Макро і мікроструктурні дослідження провідників внутрішніх електричних мереж

При візуальному огляді провідників, вилучених з місця пожежі, можна попередньо зробити висновки про природу оплавлення, (викликане воно струмом КЗ, чи зовнішнім тепловим впливом на провідник. Критерієм відмінності оплавлень є форма оплавлення та їх розташування за довжиною провідника.

Аналіз проводів після дослідження режимами обробки у муфельній печі показав, що КЗ при температурі  $19^\circ\text{C}$  не викликає розбризкування металу (рис. 3.4).

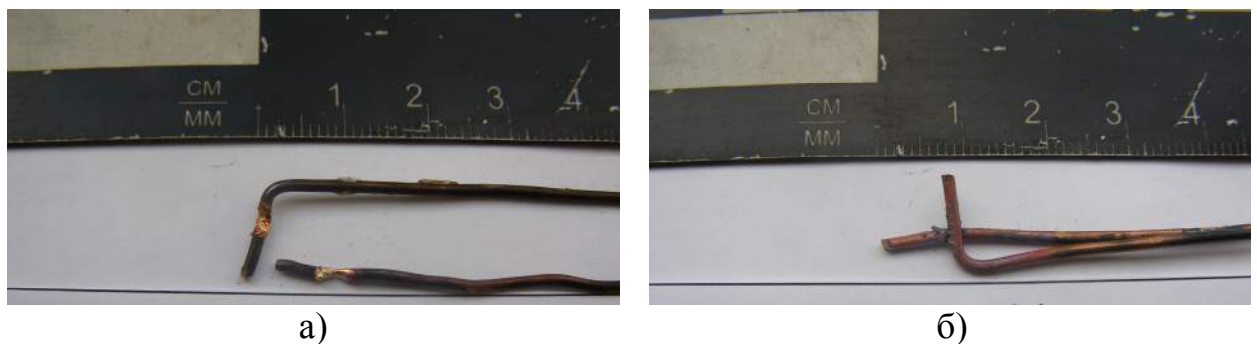


Рисунок 3.4 – Коротке замикання при кімнатній температурі ( $19^\circ\text{C}$ )

а) без злипання; б) із злипанням

Якщо КЗ відбувається при температурі 250 і 300 °С, то спостерігається розбризкування металу проводів (рис. 3.5).

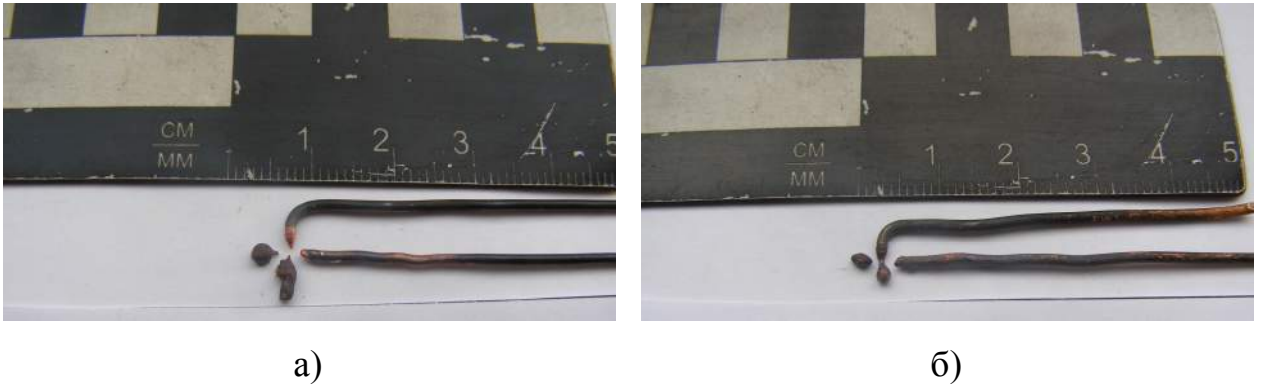


Рисунок 3.5 – Коротке замикання при температурі: а) 250 °С; б) 300 °С

Дослідження проводів у яких КЗ виникає при температурі 400 °С показало відсутність розбризкування металу після КЗ (рис. 3.6).



Рисунок 3.6 – Коротке замикання при температурі 400 °С:  
а) з витримкою 20 хв; б) з витримкою 60 хв

Після нагріву провідників до температури 600, 800 та 950 °С КЗ не супроводжується розбризкуванням, але приводить до значного оплавлення поверхневих шарів про що свідчить наявність раковин і ділянок, у яких

геометричні параметри суттєво відрізняються від початкової форми проводів (рис. 3.7).



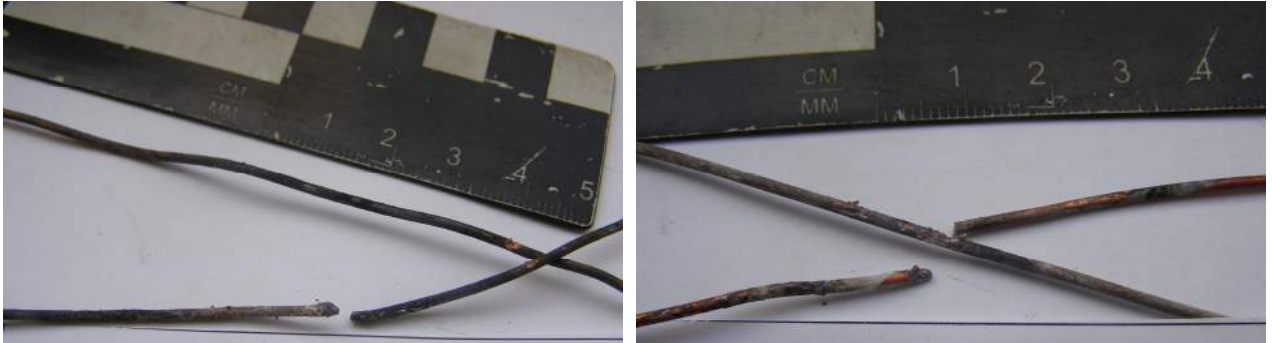
Рисунок 3.7 – Коротке замикання при температурі 950 °С

Така зміна параметрів зони КЗ пов'язана, як із динамікою окислення поверхневих шарів, так із зміною механічних властивостей матеріалу проводів при підвищеній температурі. Нагрівання вище 400 °С приводить до розм'якшення металу (модуль пружності  $\sigma_b$  зменшується), тому розбризкування не відбувається, що підтверджується при температурах 600, 800 і 950 °С.

Таким чином, проведені дослідження показали, що за характером зони КЗ можна судити про температуру при якій відбулося руйнування провідників. Коротке замикання при кімнатній температурі не викликає розбризкування металу проводів, як і при температурах, вищих за 400 °С. Зростання температури понад 600 °С спричиняє плинність металу в умовах КЗ, про що свідчить наростання зміни геометричних параметрів провідників у випадку підвищення температури. Значне розбризкування металу було виявлене при нагріванні до 250 та 300 °С.

Аналіз зразків, у яких відбулось КЗ в умовах, наближених до реальних (у модельному вогнищі), показав, що перегорання провідників можливе не тільки у зоні їх контакту (рис. 3.8 б), а і поза її межами (рис. 3.8 а). Це

пов'язане з тим, що в зоні контакту значення опору було значно вищим за значення опору в зоні КЗ через дію полум'я.



а)

б)

Рисунок 3.8 – Коротке замикання виникло в результаті пошкодження ізоляції полум'ям

З метою підтвердження результатів, отриманих шляхом макроструктурного аналізу, проведено дослідження вказаних провідників описуванням мікроструктури [111-113].

Для виявлення мікроструктури провідників вони піддавались травленню шляхом нанесення на поліровану поверхню спеціального реактиву (травника) – Травник №1 – Ферум (III) хлорид гексагідрат 10 г, хлоридна кислота 25 см<sup>3</sup>, вода 100 см<sup>3</sup>;

Травник №2 – Подвійна сіль амоній хлориду та купрум (II) хлориду 10 г, вода 100 см<sup>3</sup>, амоніак (до отримання нейтральної або слаболужної реакції).

Травник наносять на якісну поверхню шліфа і після деякої витримки промивають в проточній воді [7, 48].

Після травлення мікроструктура досліджувалась за допомогою металографічного мікроскопа МЕТАМ РВ – 21 (рис. 3.9).



Рисунок 3.9 – Загальний вигляд металографічного мікроскопа

Особлива увага приділялась зоні оплавлення. Для фотографування і збереження мікроструктури використовували цифрову фотокамеру, яка вставлялась в окуляр і за допомогою USB-порту підключалась до комп'ютера. Фотографування необхідно проводити одразу ж після травлення, з метою уникнення окислення поверхні шліфа.

Дослідження мікрошліфів підтверджують результати макроаналізу, з підвищенням температури КЗ відмінності у геометричних характеристиках проводів зростають (рис. 3.10).



а)

б)

Рисунок 3.10 – Готовий шліф:

а) еталон; б) КЗ виникло при температурі 950 °С

Аналіз мікроструктури матеріалу проводів, 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 його перегрівання (рис. 3.11).

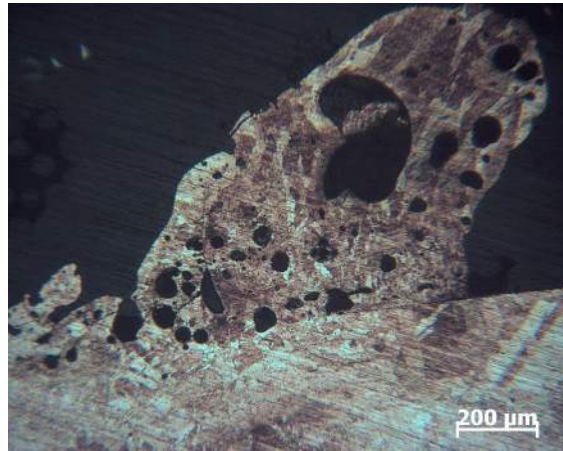


Рисунок 3.11 – Мікроструктура провідника, в якому КЗ відбулось при температурі 19 °С

Аналіз мікроструктури проводів, нагрітих до температури 250 °С, показав присутність ділянок різного кольору, зокрема голубого, що свідчить про окиснення, яке відбувається не тільки на поверхні, але і в внутрішніх шарах матеріалу. Під час КЗ утворюються пори в основному у зоні окиснення або на границі розділу окиснений – не окиснений матеріал (рис. 3.12).

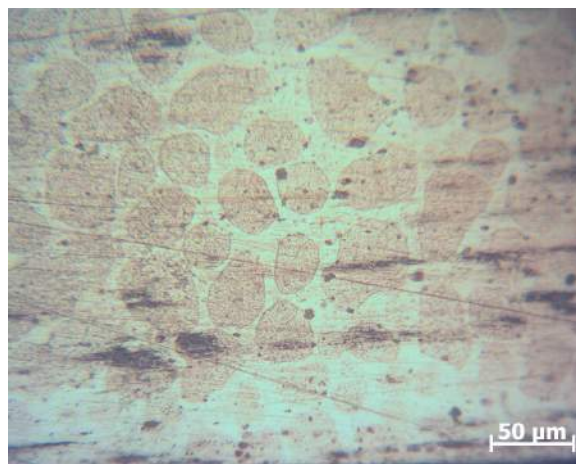


Рисунок 3.12 – Мікроструктура провідника, в якому КЗ відбулось при температурі 250 °С і витримці 20 хв

Слід відмітити, що після КЗ при температурі 250 °С і витримки 20 хвилин, виявляється лита структура, характерною особливістю якої є кристаліти, що ростуть у зворотньому до відведення тепла напрямку. Причому після витримки 60 хвилин розмір цих кристалітів є більшим, ніж кристалітів, утворених при витримці 20 хвилин (рис. 3.13).

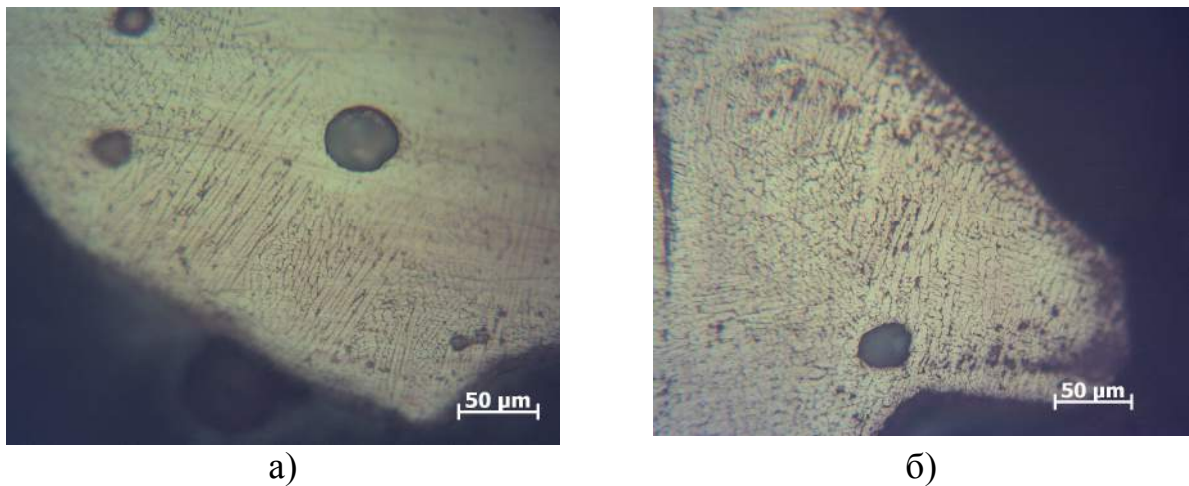


Рисунок 3.13 – Мікроструктура провідника, в якому КЗ відбулось при температурі 250 °С: а) з витримкою 20 хв; б) з витримкою 60 хв

При руйнуванні зони КЗ спостерігається вихід пор на зовнішню поверхню проводу; особливо це добре проявляється після витримки 60 хвилин при температурі 250 °С (рис. 3.14).



Рисунок 3.14 – Мікроструктура провідника, в якому КЗ відбулось при температурі 250 °С і витримці 60 хв

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 більшість їх виходить на поверхню руйнування. Дослідження мікроструктури показує, що КЗ при температурі 300 °С супроводжується руйнуванням матеріалу, яке в основному відбувається по границях зерен полікристалів міді (рис. 3.15).

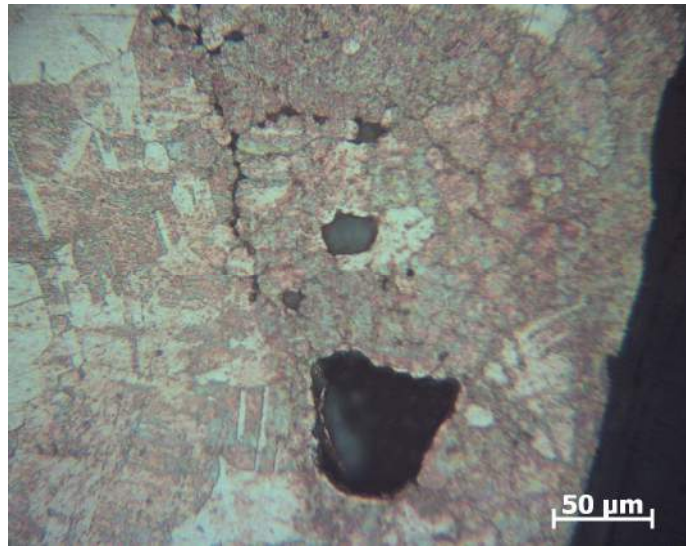


Рисунок 3.15 – Мікроструктура провідника, в якому КЗ відбулось при температурі 300 °С

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

Дослідження мікроструктури проводів 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 так само, як і не виявляється розбризування металу. Розмір дендритів після витримки 60 хвилин є більшим ніж при витримці 20 хвилин, 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. 3.16).

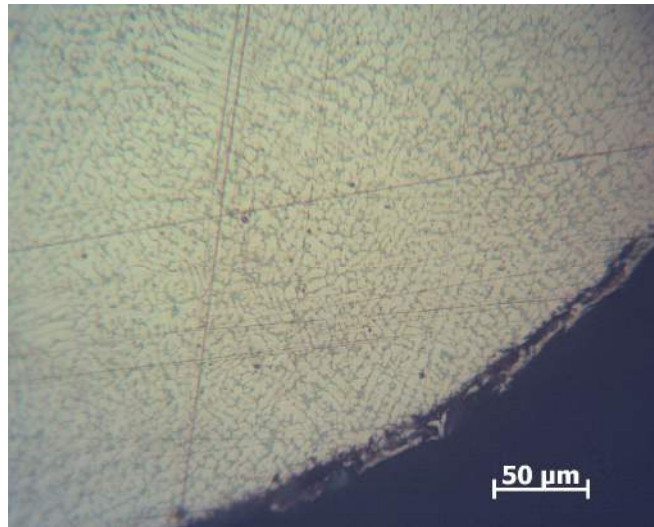


Рисунок 3.16 – Мікроструктура провідника, в якому КЗ відбулось при температурі 400 °С і витримці 60 хв

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. 3.17).

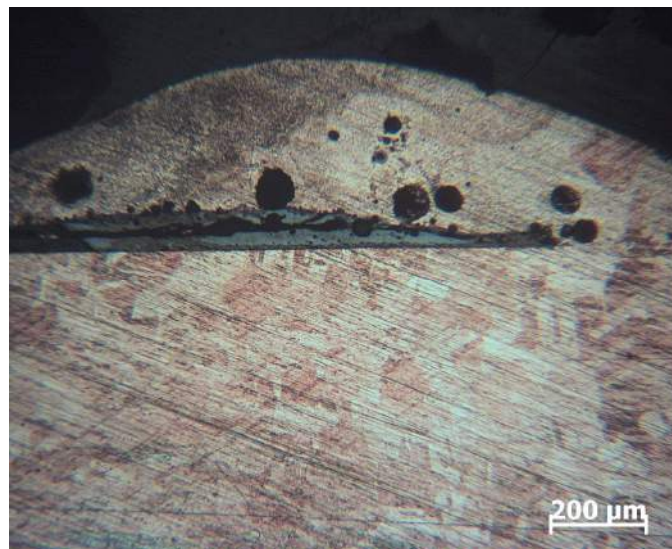


Рисунок 3.17 – Мікроструктура провідника, в якому КЗ відбулось при температурі 600 °С і витримці 60 хв

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 розплавлених – не розплавлених метал. Слід відмітити, що під час КЗ розбризкування металу не відбувається, але проходить його течіння. Зона формування тріщин є окисненою про що свідчить її колір який суттєво відрізняється від кольору основного металу (рис. 3.18).

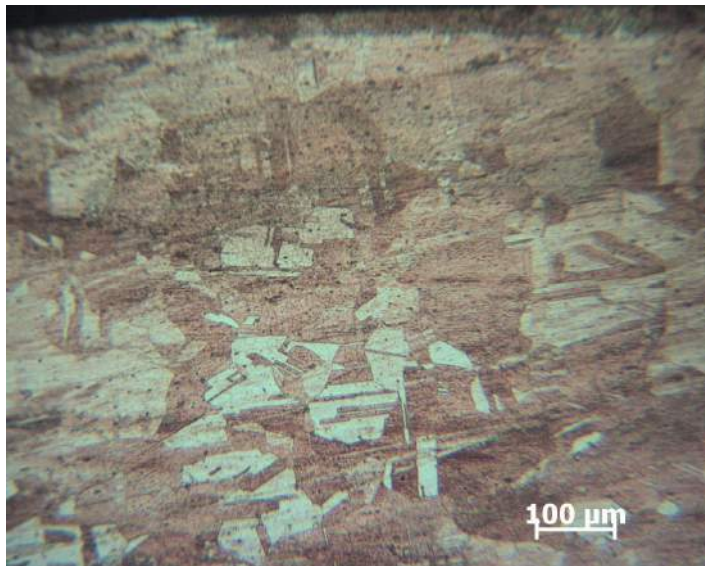


Рисунок 3.18 – Мікроструктура провідника, в якому КЗ відбулось при температурі 800 °С і витримці 20 хв

Витримка 20 хвилин 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. 3.19).

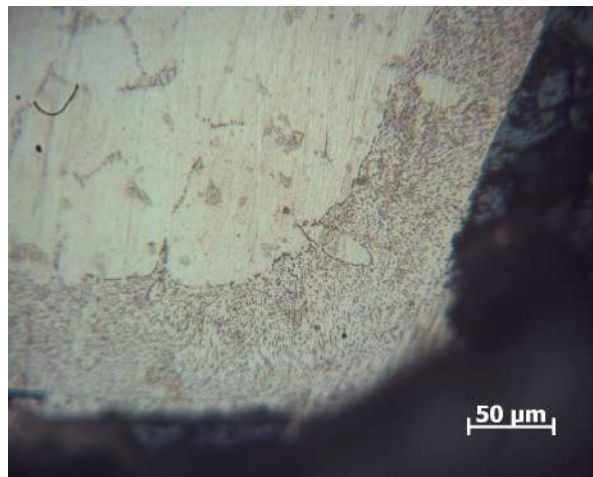


Рисунок 3.19 – Мікроструктура провідника, в якому КЗ відбулось при температурі 950 °С

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. 3.20).

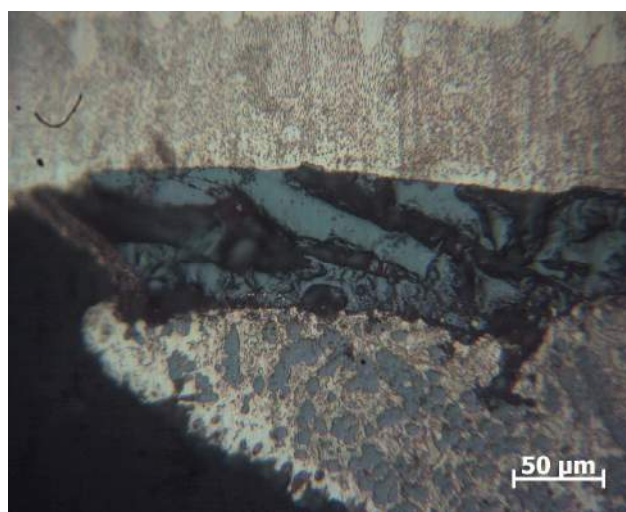


Рисунок 3.20 – Мікроструктура провідника у якому КЗ відбулось при температурі 950 °С

Збільшення часу витримки при температурі 950 °С до 20 хвилин супроводжується збільшенням товщини шару на поверхні окисненого матеріалу (рис. 3.21).

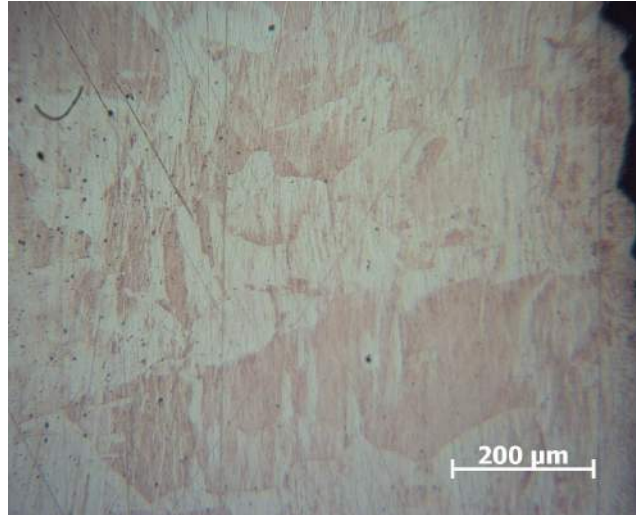


Рисунок 3.21 – Мікроструктура провідника у якому КЗ відбулось при температурі 950 °С і витримці 20 хв

Аналіз мікроструктури зразків після КЗ у модельному вогнищі показав, що суттєвих відмінностей мікроструктури по відношенню до провідників нагрітих в печі не виявлено.



Рисунок 3.22 – Мікроструктура провідника, в якому КЗ відбулось у модельному вогнищі при температурі 800 °С

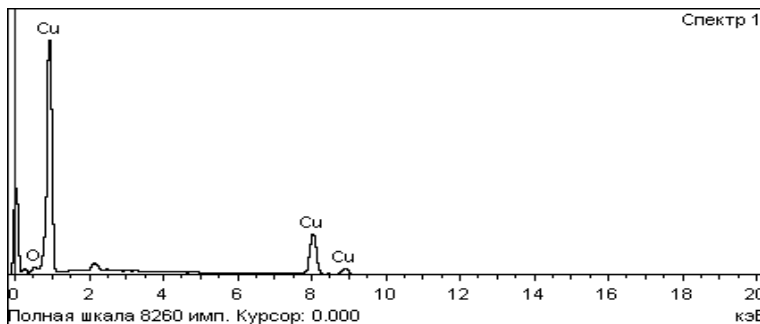


### 3.5. Аналіз провідників внутрішніх електричних мереж шляхом проведення рентгеноспектральних і рентгеноструктурних досліджень

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 – мідь ( $\omega(\text{Cu}) = 97,86\%$ ) і кисень ( $\omega(\text{O}) = 2,14\%$ ) (рис. 3.23).



а)



б)

Елемент	Масовий %	Атомний %
О К	2.14	7.98
Сu L	97.86	92.02
Разом	100.00	

Рисунок 3.23 – Ділянка провідника (а), спектр та вміст елементів (б) еталона

Рентгенофазові дослідження еталонного взірця за допомогою приладу ДРОН-4.07М показали наявність ліній міді та відсутність інших металів і їх з'єднань, можливо у зв'язку з малою кількістю фази (<5%) (рис. 3.24).

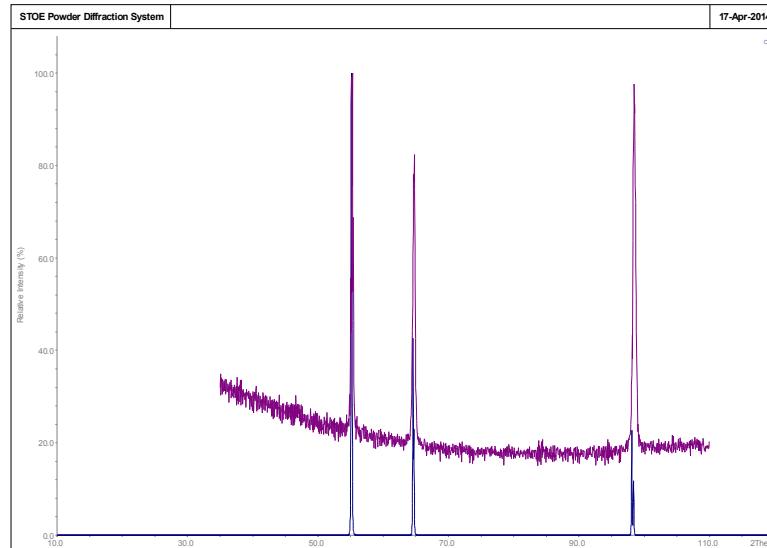
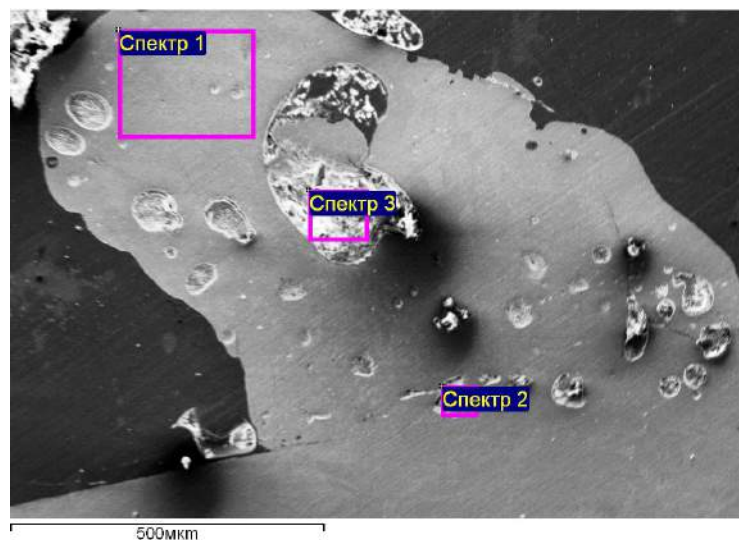
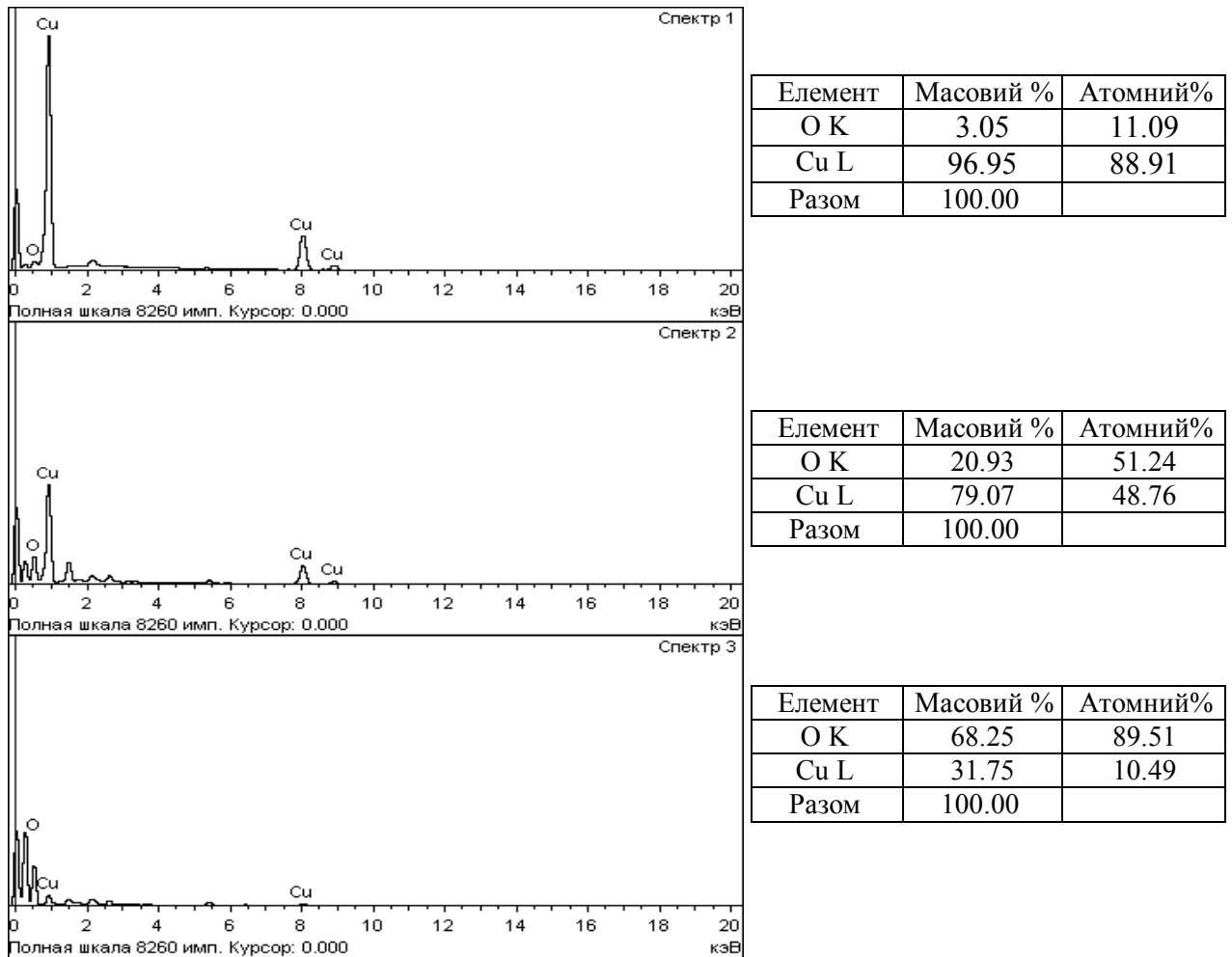


Рисунок 3.24 – Дифрактограма еталонного взірця

Аналіз зони напливу (рис. 3.25), що утворилась після КЗ при температурі 19 °С, показує присутність міді і мінімальну кількість кисню (рис. 3.25 б, спектр 1).



а)



б)

Рисунок 3.25 – Ділянка провідника (а), спектри та вміст елементів (б) у якому КЗ відбулось за температури 19 °С

В зоні сплавлення також зменшується кількість міді, але зростає кількість кисню порівняно з еталоном.

У зоні переходу напливу і основного металу кількість кисню зростає до  $\omega(\text{O}) = 20,93\%$  (рис. 3.25 б, спектр 2), а у зонах утворення раковин кількість кисню зростає до  $\omega(\text{O}) = 68,25\%$  (рис. 3.25 б, спектр 3), що вказує на википання і випаровування міді в зоні КЗ через досягнення у провіднику температури пароутворення міді 2567 °С [53].

Рентгеноспектральні фазові дослідження зрізця, в якому КЗ відбулось при температурі 19 °С, показали відсутність ліній інших металів і їх з'єднань, окрім міді (рис. 3.26).

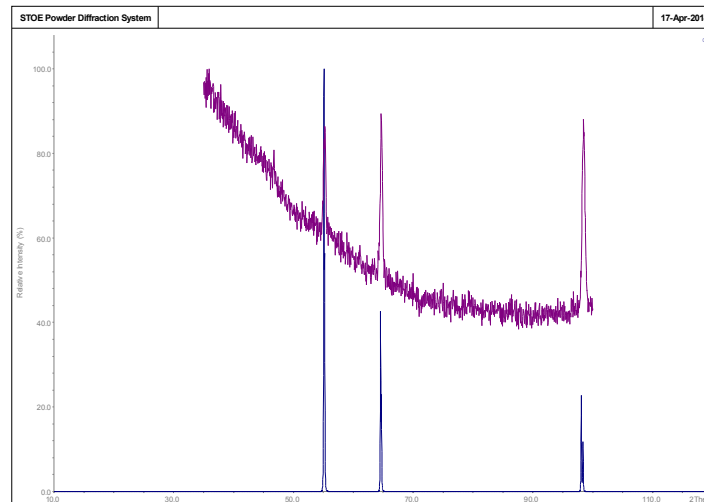


Рисунок 3.26 – Дифрактограма зрізця, в якому КЗ відбулось при температурі 19 °С

Слід відмітити, що аналогічний фазовий склад було виявлено під час дослідження провідників, в яких КЗ відбулось при температурі 250 °С (рис. 3.27).

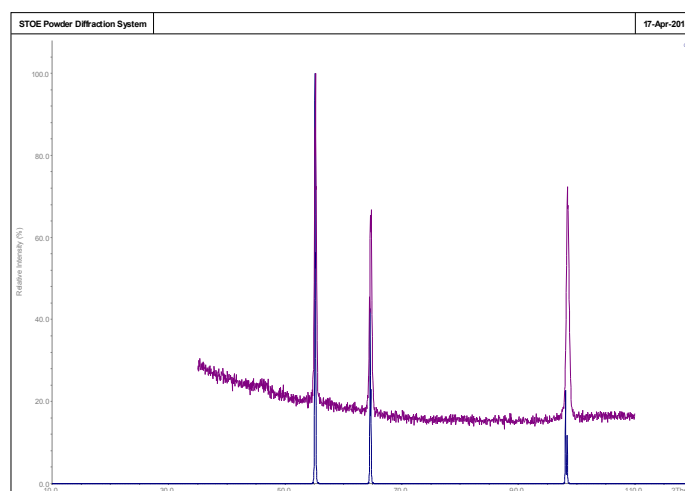
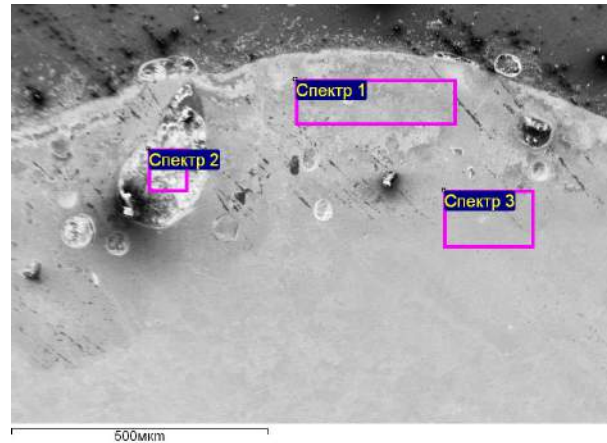


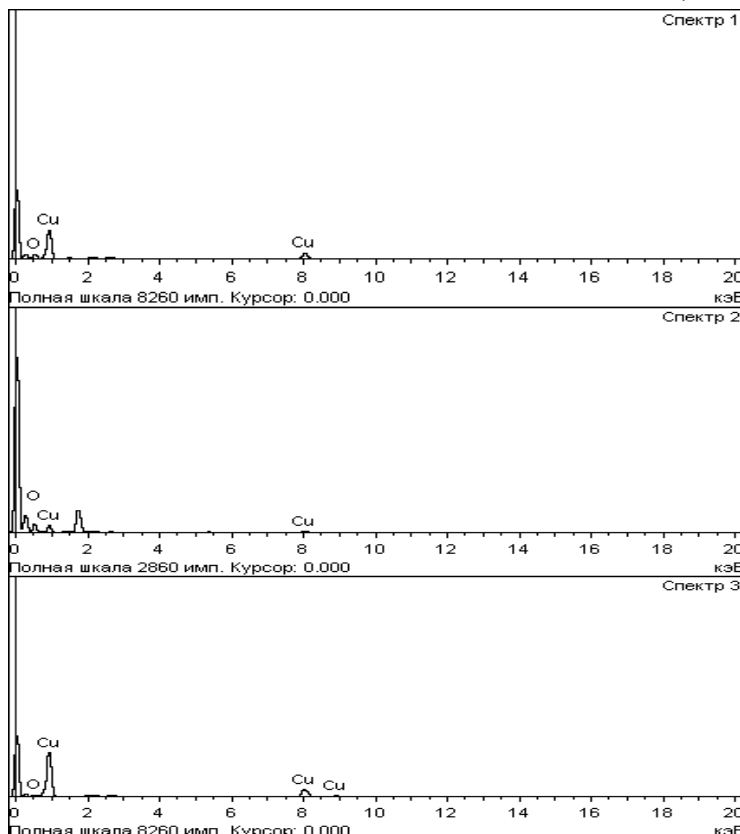
Рисунок 3.27 – Дифрактограма зрізця, в якому КЗ відбулось при температурі 250 °С



Дослідження провідників після КЗ при температурі 300 °С показали, що на поверхні зразків зростає кількість кисню, а кількість міді стає меншою. Причому кількість кисню зростає більше ніж у 2 рази. Слід відмітити, що нагрівання до температури 300°С підвищує вміст кисню майже в 2 рази порівняно з еталоном (рис. 3.28).



а)



Елемент	Масовий %	Атомний%
О К	16.00	43.06
Cu L	84.00	56.94
Разом	100.00	

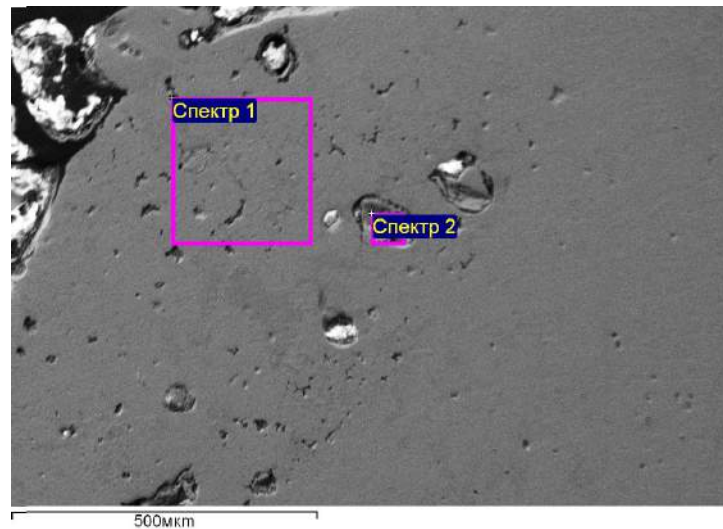
Елемент	Масовий %	Атомний%
О К	45.97	77.17
Cu L	54.03	22.83
Разом	100.00	

Елемент	Масовий %	Атомний%
О К	4.98	17.22
Cu L	95.02	82.78
Разом	100.00	

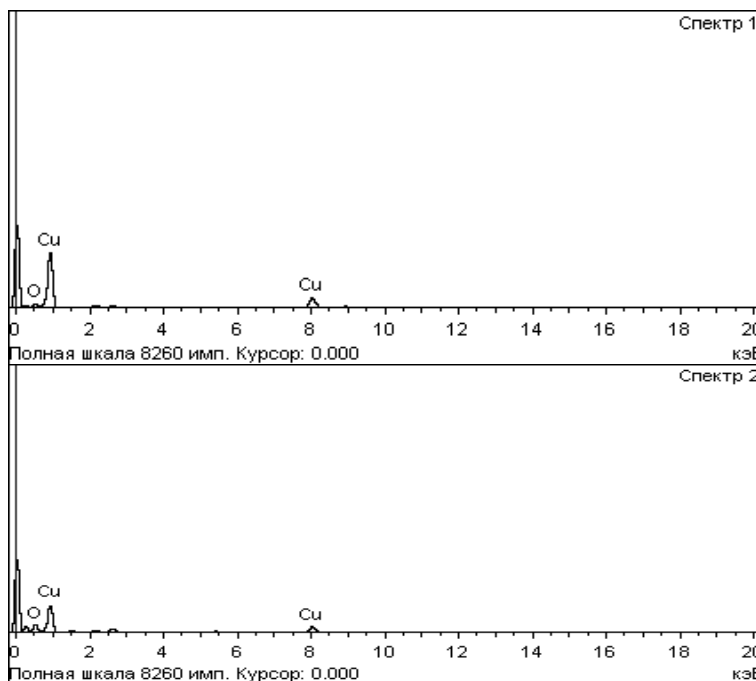
б)

Рисунок 3.28 – Ділянка провідника (а), спектри та вміст елементів (б), витриманого до КЗ 15 хв при 300 °С і вилученого із печі

Витримка протягом 20 хвилин після КЗ при температурі 300 °С призводить до ще більшого окиснення металу і зменшення вмісту міді (рис. 3.29 б, спектр 1) так вміст кисню зростає до  $\omega(\text{O}) = 5,29\%$ , а вміст міді зменшується до  $\omega(\text{Cu}) = 94,71\%$ . В зоні раковини вміст кисню зростає до  $\omega(\text{O}) = 20,22\%$  (рис. 3.29 б, спектр 2).



а)



Елемент	Масовий %	Атомний%
О К	5.29	18.16
Cu L	94.71	81.84
Разом	100.00	

Елемент	Масовий %	Атомний%
О К	20.22	50.17
Cu L	79.78	49.83
Разом	100.00	

б)

Рисунок 3.29 – Ділянка провідника (а), спектри та вміст елементів (б), витриманого до КЗ 15 хв при 300 °С і 20 хв після КЗ

Нагрівання до температури 400 °С приводить до зміни фазового складу сплаву у зоні КЗ. Так, поряд із піками міді з'являються піки, які чітко ідентифікуються на дифрактограмі, як з'єднання  $\text{Cu}_2\text{O}$  (рис. 3.30), які не виявляються після КЗ при температурах 19 °С, 250 °С і 300 °С.

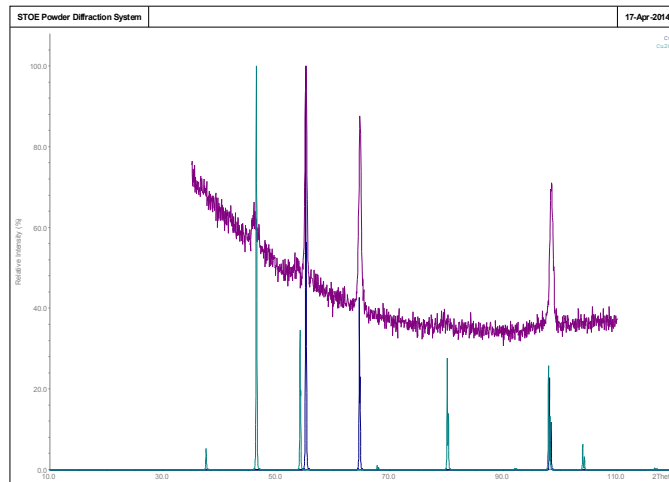


Рисунок 3.30 – Дифрактограма зрізця, в якому КЗ відбулось при температурі 400 °С

Дослідження зразків, які після нагрівання до температури 400 °С були охолоджені у воді, підтверджують отримані результати, як бачимо фазовий склад провідника не відрізняється від складу провідника без охолодження у воді (рис. 3.31).

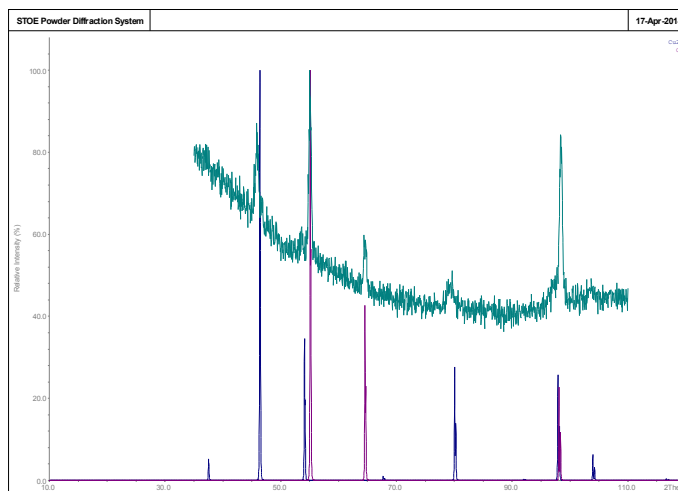
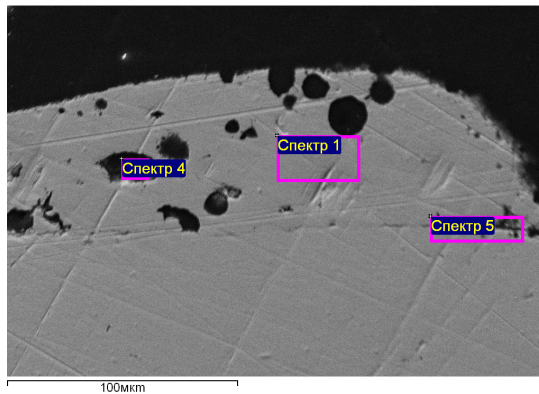


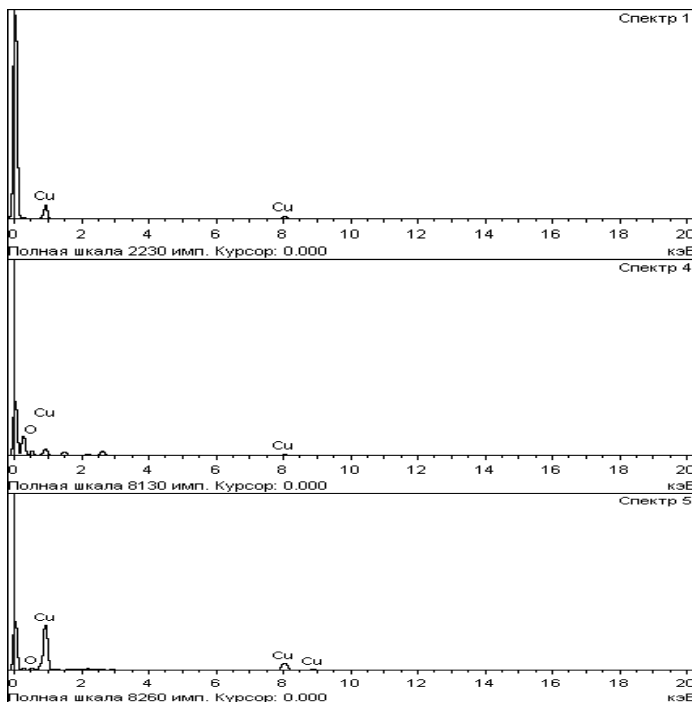
Рисунок 3.31 – Дифрактограма зрізця, в якому КЗ відбулось при температурі 400 °С і охолодження у воді

Локальний рентгеноспектральний аналіз зони напливу утвореного після КЗ при температурі 400 °С і охолодження у воді, показав присутність міді і кисню, вміст останнього збільшується порівняно з еталоном в 2 рази.

У зоні раковини вміст кисню значно зростає (до  $\omega(\text{O}) = 36,66\%$ ), а вміст міді зменшується до  $\omega(\text{Cu}) = 63,34\%$ . Зона оплавлення за своїм складом не відрізняється від зони напливу (рис. 3.32 б, спектр 5 і спектр 1). Збільшується кількість раковин (рис. 3.32 а).



а)



б)

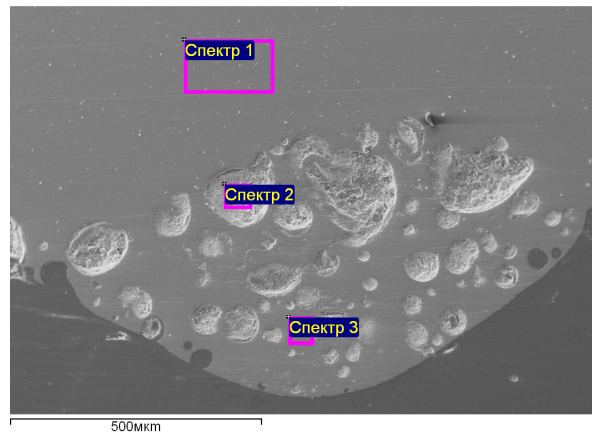
Елемент	Масовий %	Атомний%
О К	4.30	15.14
Сu L	95.70	84.86
Разом	100.00	

Елемент	Масовий %	Атомний%
О К	36.66	69.68
Сu L	63.34	30.32
Разом	100.00	

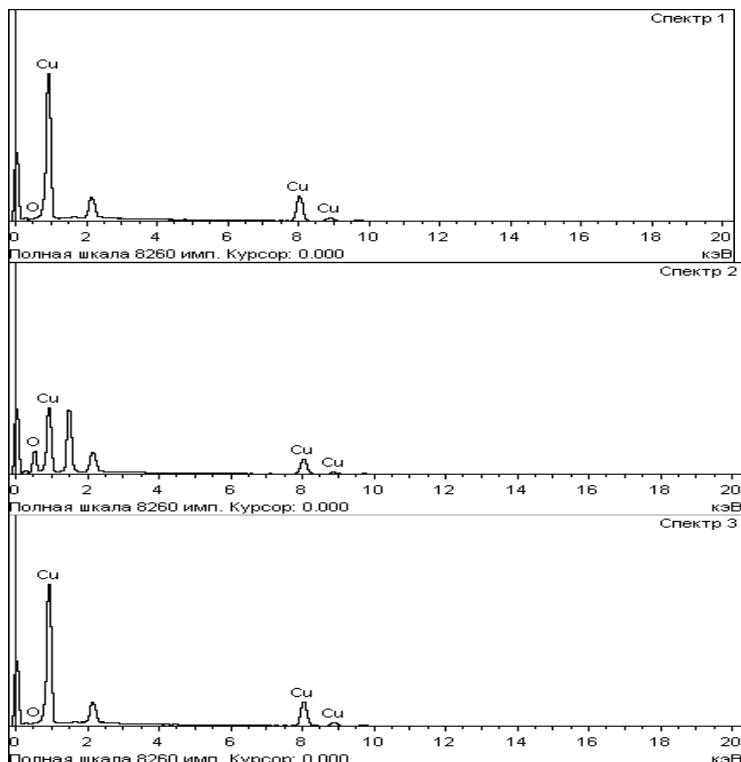
Елемент	Масовий %	Атомний%
О К	4.07	14.43
Сu L	95.93	85.57
Разом	100.00	

Рисунок 3.32 – Ділянка провідника (а), спектри та вміст елементів (б), витриманого до КЗ 15 хв при 400 °С і охолодженого у воді

Дослідження зони напливу провідників, у яких КЗ відбулось при температурі 600 °С показали, що в зоні основного металу вміст кисню є мінімальним  $\omega(\text{O}) = 0,55\%$ , у зоні напливу він становить  $\omega(\text{O}) = 0,93\%$ , а у зоні утворення раковини вміст кисню зростає до  $\omega(\text{O}) = 22,02\%$ , тобто найбільше зростання вмісту кисню спостерігається у зонах раковин, що утворюються в зоні напливу металу (рис. 3.33).



а)



Елемент	Масовий %	Атомний%
О К	0.55	2.17
Сu L	99.45	97.83
Разом	100.00	

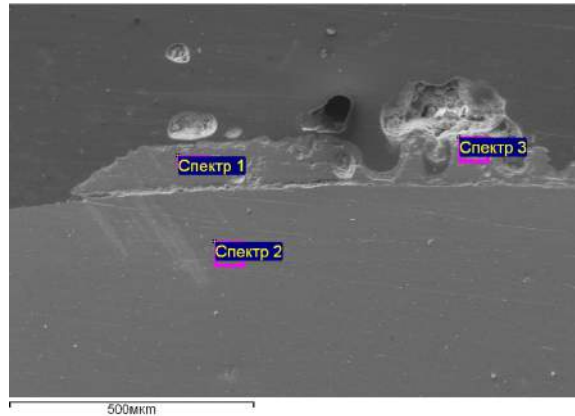
Елемент	Масовий %	Атомний%
О К	22.02	52.86
Сu L	77.98	47.14
Разом	100.00	

Елемент	Масовий %	Атомний%
О К	0.93	3.59
Сu L	99.07	96.41
Разом	100.00	

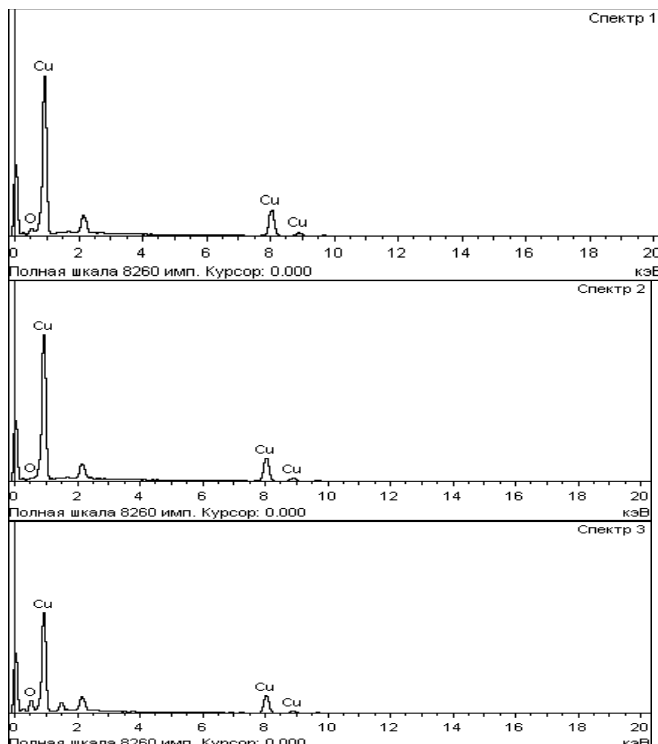
б)

Рисунок 3.33 – Ділянка провідника (а), спектри та вміст елементів (б), витриманого до КЗ 15 хв при 600 °С і вилученого із печі

Після витримки 20 хвилин при температурі 600 °С спостерігається зростання вмісту кисню в зоні напливу до  $\omega(\text{O}) = 3,75\%$ , крім того у зоні основного металу також спостерігається зростання кисню до  $\omega(\text{O}) = 1,01\%$ . У зоні раковини виявлено зростання кисню до  $\omega(\text{O}) = 11,26\%$  (рис. 3.34, спектр 3). Витримка впродовж 20 хвилин після КЗ при температурі 600 °С призводить до суттєвого збільшення вмісту кисню у всіх досліджуваних спектрах.



а)



Елемент	Масовий %	Атомний%
О К	3.75	13.39
Cu L	96.25	86.61
Разом	100.00	

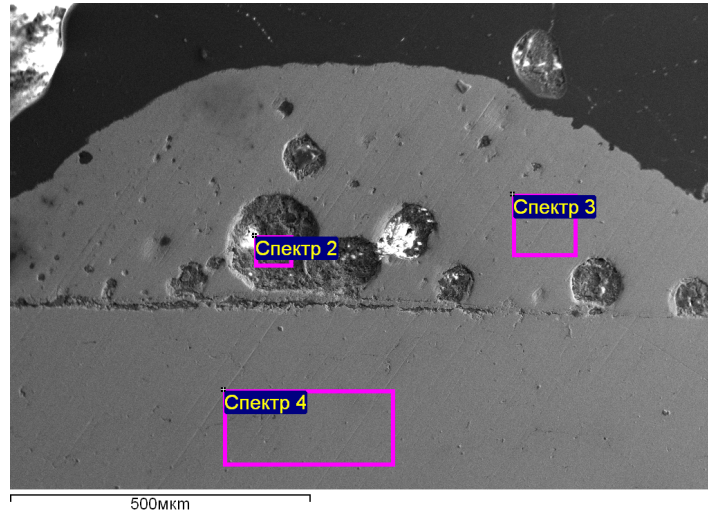
Елемент	Масовий %	Атомний%
О К	1.01	3.88
Cu L	98.99	96.12
Разом	100.00	

Елемент	Масовий %	Атомний%
О К	11.26	33.51
Cu L	88.74	66.49
Разом	100.00	

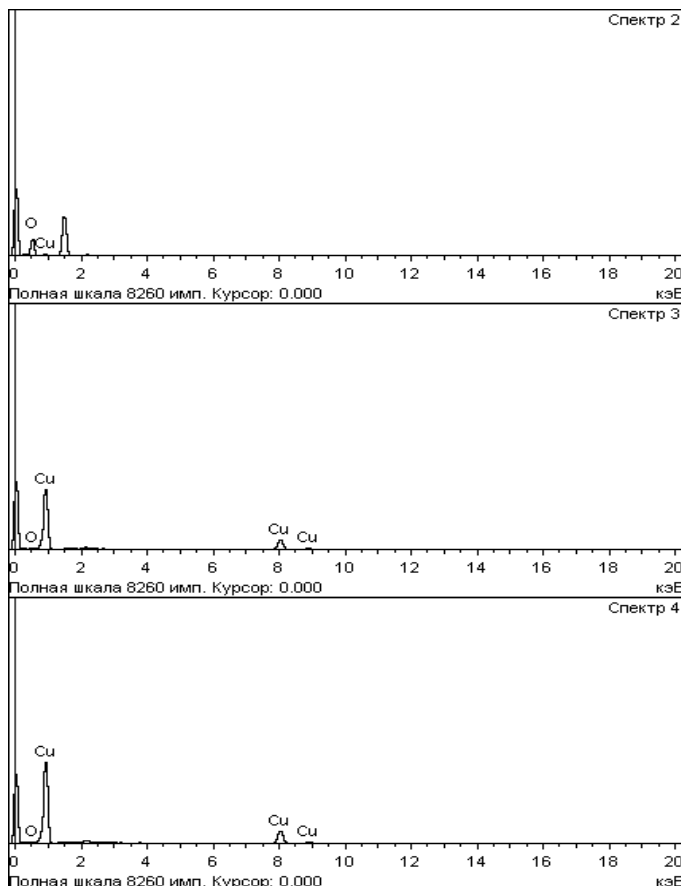
б)

Рисунок 3.34 – Ділянка провідника (а), спектри та вміст елементів (б), витриманого до КЗ 15 хв при 600 °С і 20 хв після КЗ

Дослідження зразків після КЗ при температурі 600 °С і охолодження у воді показало, що порівняно з охолодженням на повітрі вміст кисню в зоні основного металу сильно не змінюється (рис. 3.35 б, спектр 4).



а)



Елемент	Масовий %	Атомний %
О К	84.25	95.50
Сu L	15.75	4.50
Разом	100.00	

Елемент	Масовий %	Атомний %
О К	2.71	9.97
Сu L	97.29	90.03
Разом	100.00	

Елемент	Масовий %	Атомний %
О К	1.02	3.94
Сu L	98.98	96.06
Разом	100.00	

б)

Рисунок 3.35 – Ділянка провідника (а), спектри та вміст елементів (б), витриманого до КЗ 15 хв при 600 °С і охолодженого у воді



Суттєве зростання кількості кисню у зоні раковин після охолодження у воді можливо пов'язане із дисоціацією води (рис. 3.35 б, спектр 2).

Збільшення вмісту кисню 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 (утворення флокенів) (рис. 3.36).

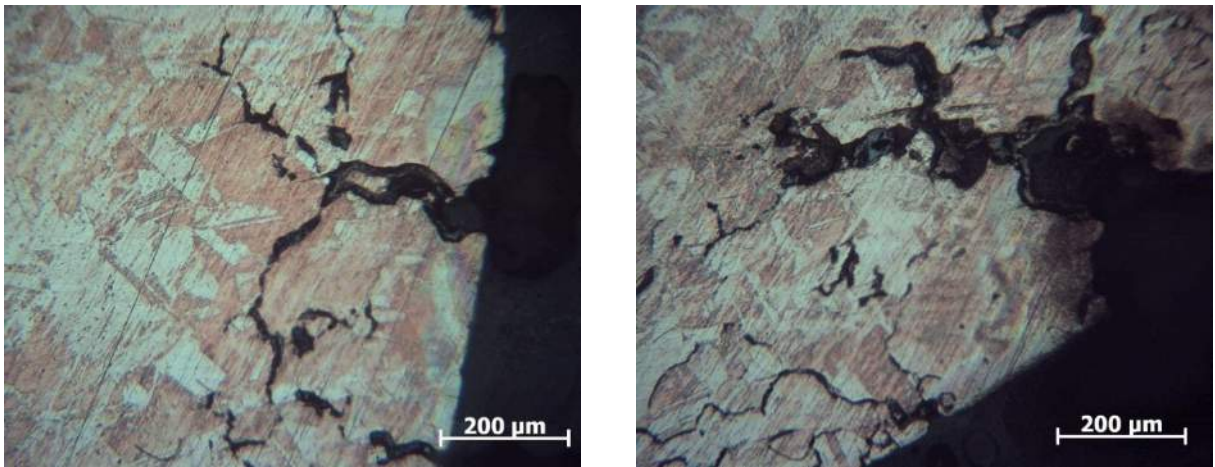


Рисунок 3.36 – Мікроструктура провідника, в якому КЗ відбулось при температурі 600 °С і охолодження у воді

Проведені дослідження з наявності кисню вказують на те, що під час охолодження у воді зразків, в яких КЗ виникло при температурі 600 °С, відбувається дисоціація води, причому кисень фіксують на поверхні провідника, а формування тріщин відбувається через те, що водень, який має більшу проникну здатність, сприяє формуванню тріщин у вигляді флокенів усередині досліджуваного матеріалу (рис. 3.36).

Дослідження зразків після нагрівання до 800 °С показали присутність міді і з'єднань  $\text{Cu}_2\text{O}$ . Причому вміст  $\text{Cu}_2\text{O}$  суттєво зростає у порівнянні із чистою міддю про що свідчить інтенсивність піку (рис. 3.37).



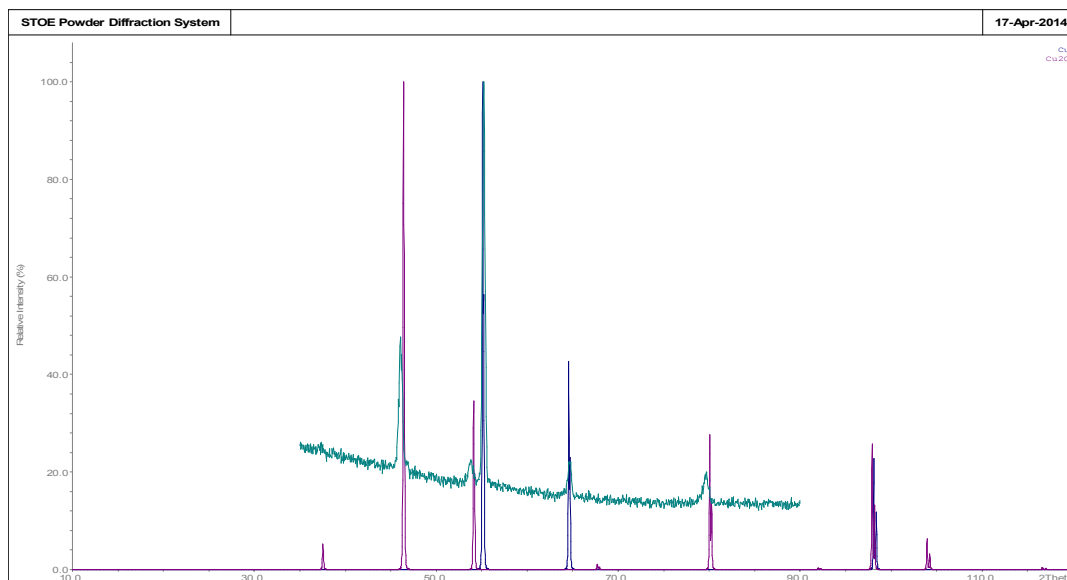
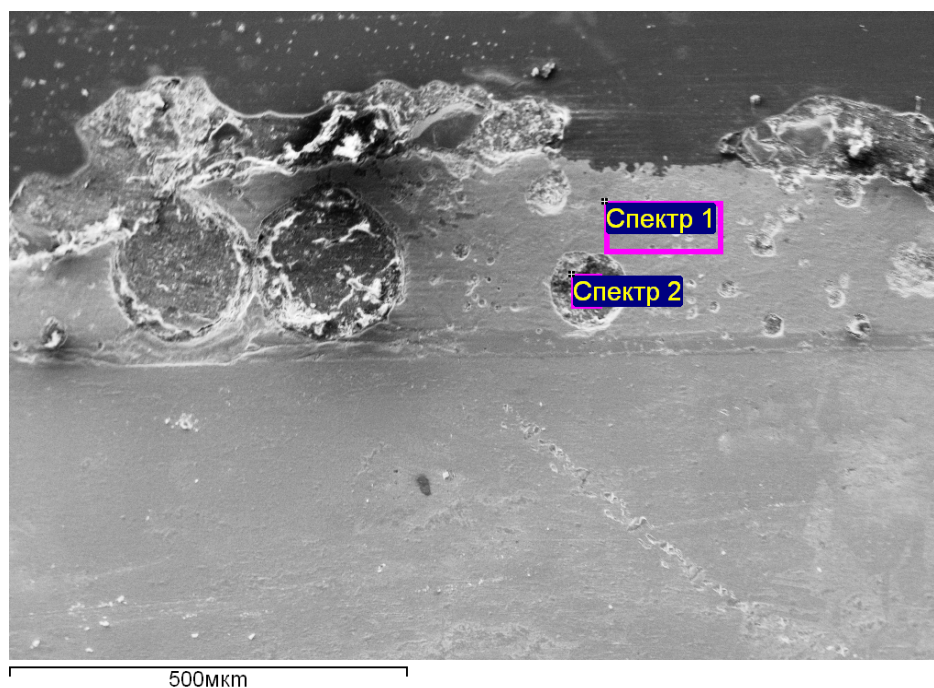
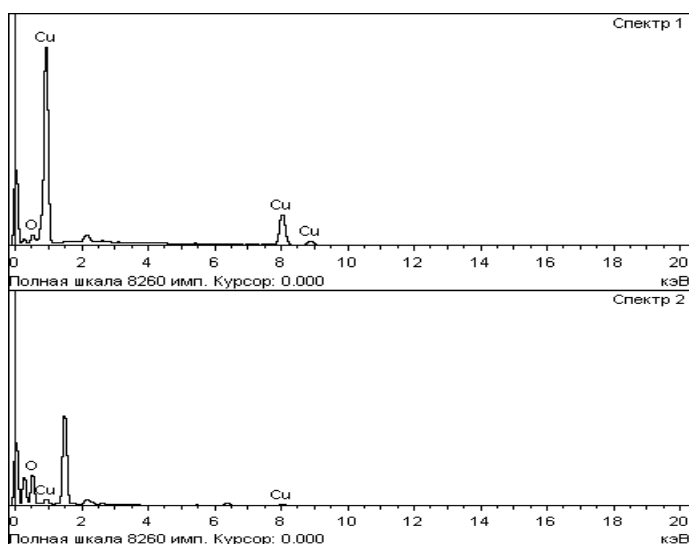


Рисунок 3.37 – Дифрактограма зрізця, в якому КЗ відбулось при температурі 800 °С

Підвищення температури нагрівання до 800 °С призвело до збільшення вмісту кисню в зоні напливу  $\omega(\text{O}) = 4,61\%$  (рис. 3.38 б, спектр 1) і  $\omega(\text{O}) = 71,36\%$  у зоні раковини (рис. 3.38 б, спектр 2).



а)



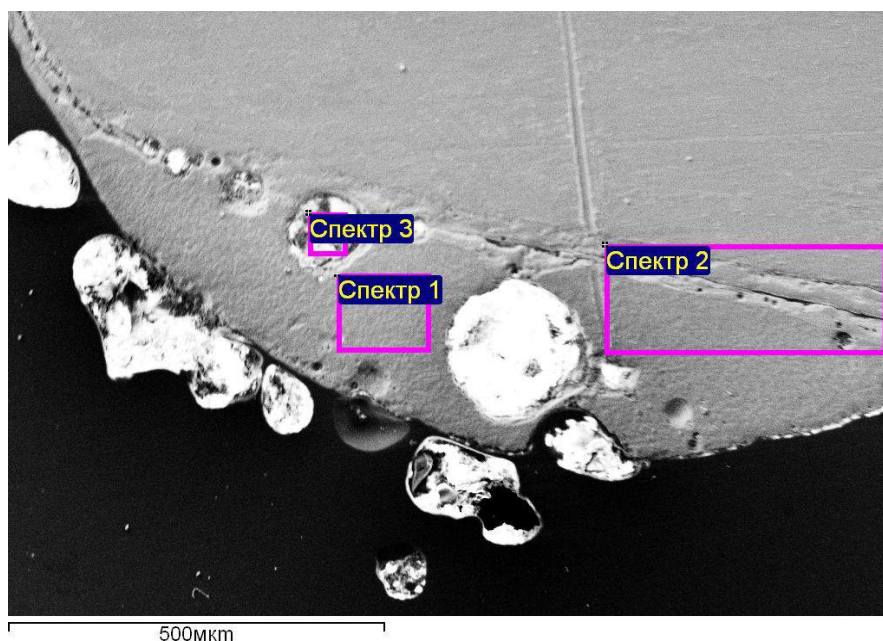
Елемент	Масовий %	Атомний%
О К	4.61	36.10
Сu L	95.39	63.90
Разом	100.00	

Елемент	Масовий %	Атомний %
О К	71.36	90.82
Сu L	28.64	9.18
Разом	100.00	

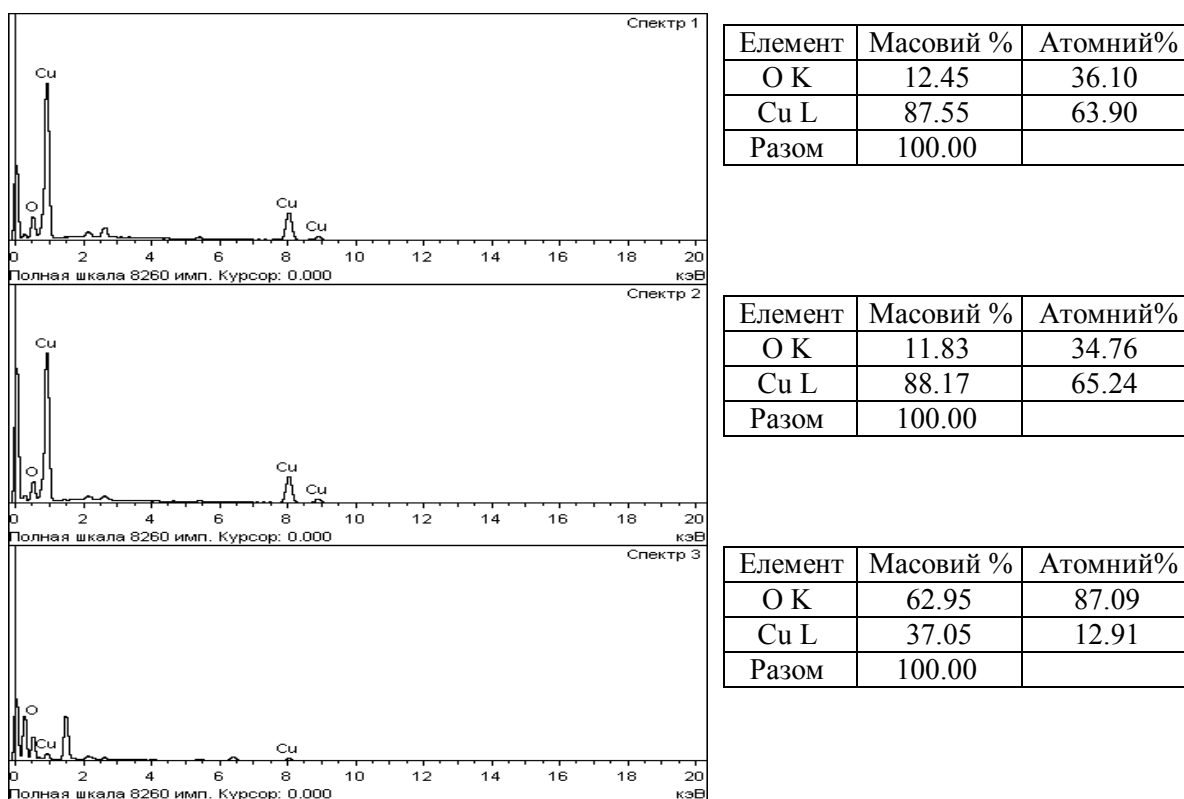
б)

Рисунок 3.38 – Ділянка провідника (а), спектри та вміст елементів (б), витриманого до КЗ 15 хв при 800 °С і вилученого з печі

Дослідження взірців після витримки проводів впродовж 20 хв при температурі 800 °С показали зростання вмісту кисню, як в зоні напливу (рис. 3.39 б, спектр 1), аналогічний вміст кисню в зоні переходу оплавлений – не оплавлений метал (рис. 3.39 б, спектр 2) і збільшення вмісту кисню в раковині у порівнянні з основним металом (рис. 3.39 б, спектр 3).



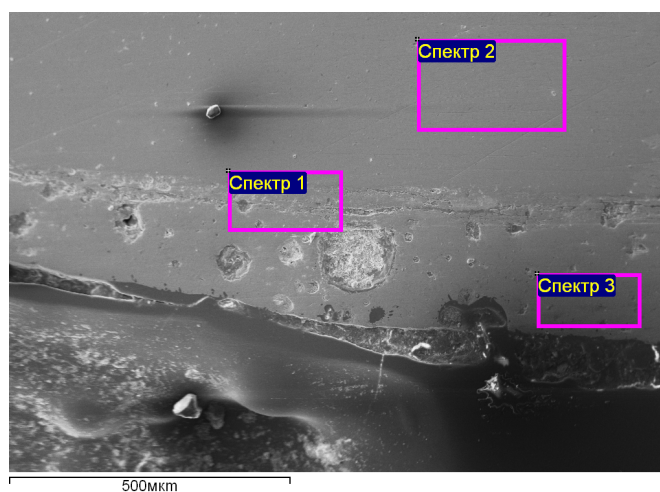
а)



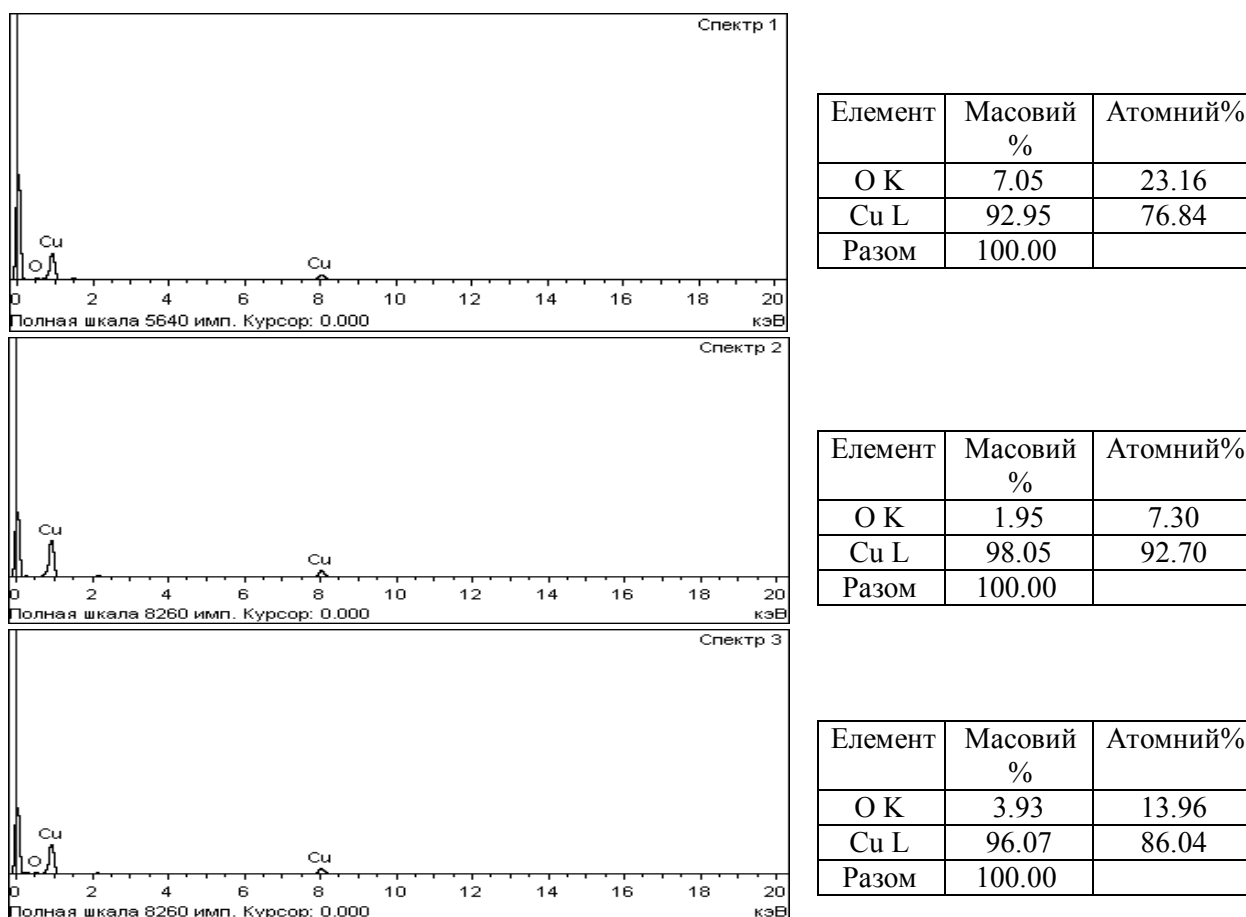
б)

Рисунок 3.39 – Ділянка провідника (а), спектри та вміст елементів (б), витриманого до КЗ 15 хв при 800 °С і 20 хв після КЗ

Дослідження взірців які були охолоджені у воді, після КЗ при температурі 800 °С показало, що в зоні напливу металу зростає вміст кисню (рис. 3.40 б, спектр 3). В зоні основного металу вміст кисню не змінюється (рис. 3.40 б, спектр 2).



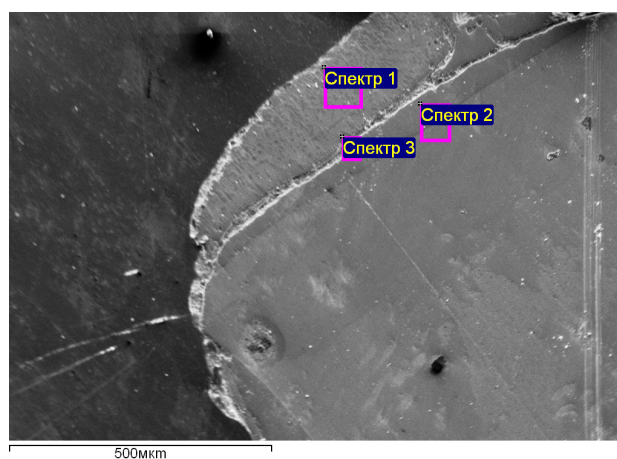
а)



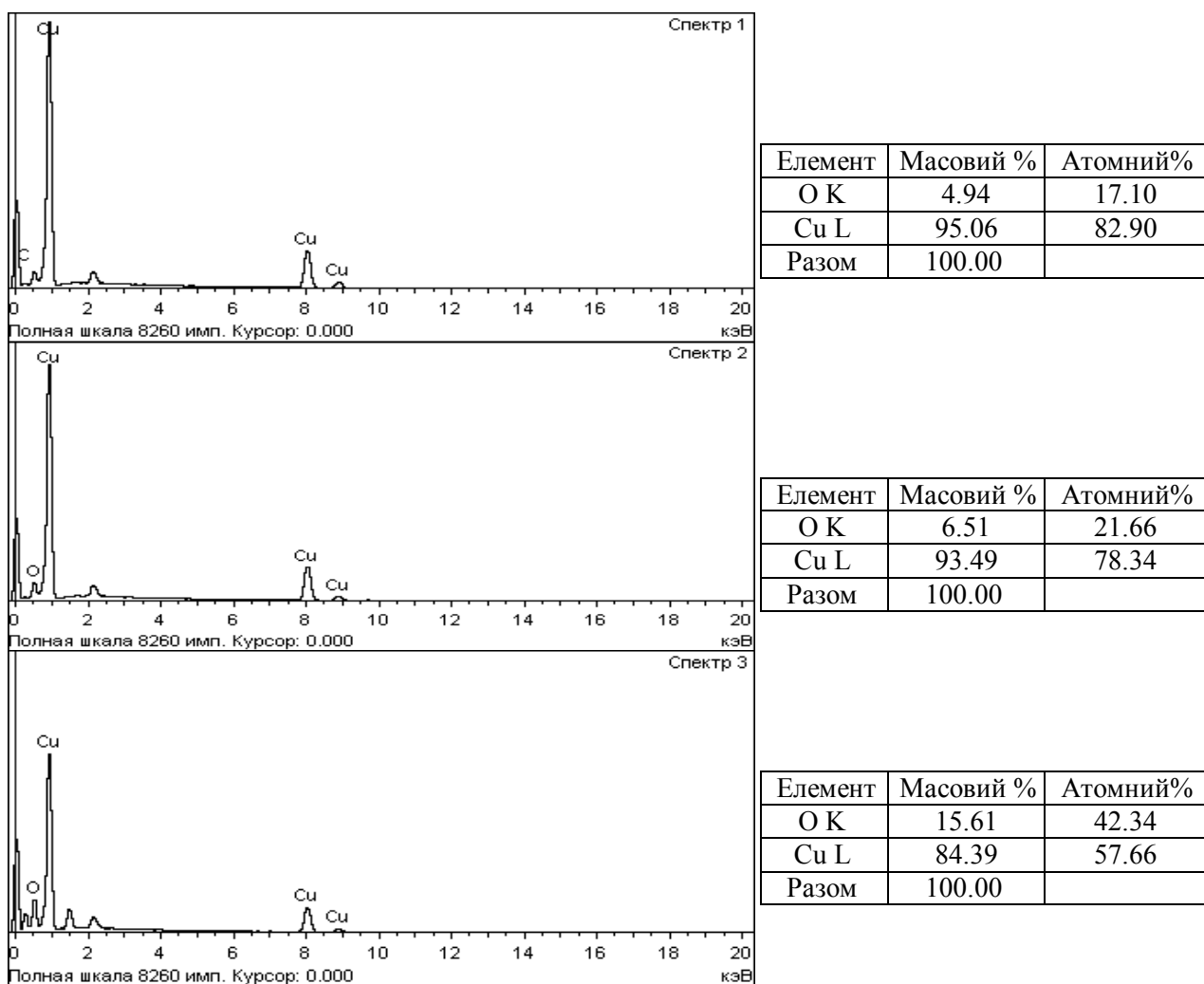
б)

Рисунок 3.40 – Ділянка провідника (а), спектри та вміст елементів (б), витриманого до КЗ 15 хв при 800 °С і охолодженого у воді

При нагріванні до 950 °С вміст кисню в напливі не змінюється, але зростає вміст кисню в основному металі і у зоні переходу основний метал і наплив (рис. 3.41 б, спектри 1,2 і 3).



а)



б)

Рисунок 3.41 – Ділянка провідника (а), спектри та вміст елементів (б), витриманого до КЗ 15 хв при 950 °С і вилученого з печі

Аналіз фазового складу зразків, в яких КЗ виникло у модельному вогнищі, показав, що у них виявляється чиста мідь,  $\text{Cu}_2\text{O}$  (рис. 3.42) та фази, ідентифікація яких була ускладнена (що підтверджується під час порівняння дифрактограм) (рис. 3.43).

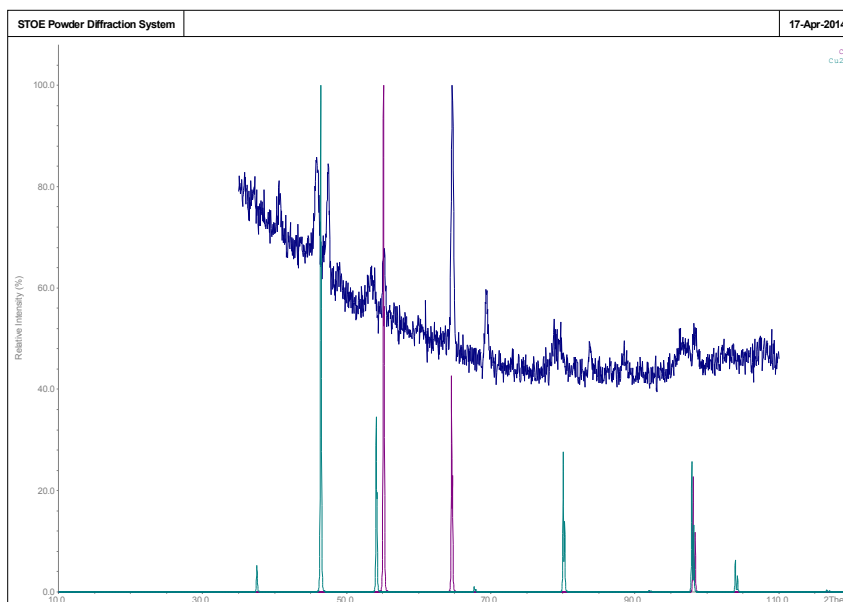


Рисунок 3.42 – Дифрактограма зрізця, в якому КЗ відбулось у полум'ї

Порівняння дифрактограм після КЗ показало, що нагрівання до температури 800 °С призводить до збільшення деяких піків, що можливо пов'язане із формуванням текстури після рекристалізації. Коротке замикання при температурі 400 °С суттєво не відрізняється від КЗ при кімнатній температурі (рис. 3.43).

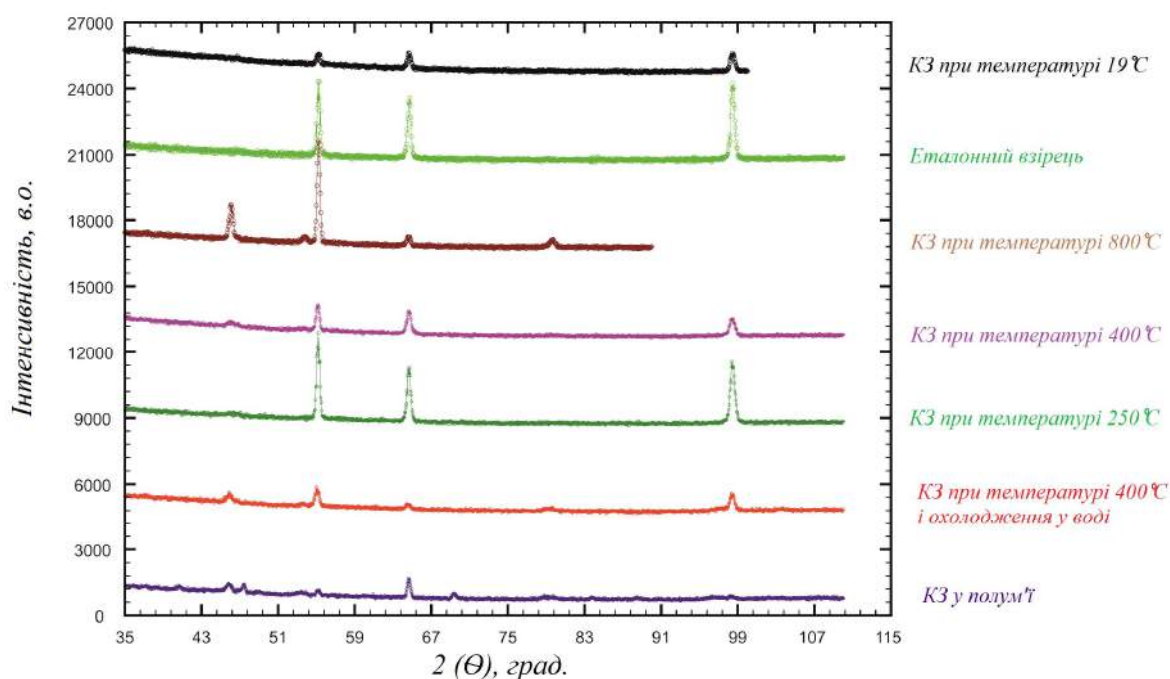


Рисунок 3.43 – Порівняння дифрактограм зрізців, в яких відбулось КЗ

### 3.6. Висновки до розділу

1. У реальних умовах дослідити теплові режими внутрішніх електромереж є надзвичайно складно, тому у роботі удосконалено математичну модель, яка базується на законах електротехніки та термодинаміки та описує динамічні процеси нагрівання провідників електричним струмом, який може змінюватись в часі, з похибкою до 12 %, залежно від прийнятих допущень.

2. Шляхом математичного моделювання встановлено, що допустимим струмом у 18 А провід з площею поперечного перерізу  $1,5 \text{ мм}^2$  нагрівається до  $63,493 \text{ }^\circ\text{C}$ , а це близько до гранично допустимої температури за умови, що температура навколишнього середовища дорівнює  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . 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 А, якому відповідає густина струму  $12 \text{ А/мм}^2$ , можна вважати завищеним.

3. Якщо струм тимчасового перевантаження досягає 25 А, то гранично допустима температура нагрівання провідника перерізом  $1,5 \text{ мм}^2$  настає за 46,042 с, тому необхідно використати захисну апаратуру, яка б при підвищенні температури до  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  (що відповідає 54,3 с) вимкнула подачу напруги.

3. У випадку підвищення струму до 100 А, тобто струму короткого замикання, гранично допустима температура настає за 2,094 с, тому захисний апарат повинен спрацювати за 1-2 с.

4. Запропонована математична модель дає змогу розрахувати час нагрівання провідника до гранично допустимої температури залежно від значення густини струму у провіднику, площі поперечного перерізу, питомого опору, а також коефіцієнта значення тепловіддачі, який встановлено експериментальним шляхом. Це дозволяє без виконання фізичних моделей виявити закономірності процесів нагрівання провідників



внутрішніх електричних мереж залежно від параметрів та характеристик провідників та умов, в яких вони знаходяться.

5. Шляхом аналізу поперечних та повздовжніх шліфів взірців мідних провідників внутрішніх електричних мереж, попередньо нагрітих полум'ям з подальшим нагріванням струмами КЗ з використанням методу рентгенофазового аналізу визначено, що починаючи від температури попереднього нагрівання 400 °C на дифрактограмах взірців появляється оксид міді (I), причому його вміст тим більший чим вища температура попереднього нагрівання.

6. Аналіз поперечних і повздовжніх шліфів мідних провідників внутрішніх електричних мереж методом локального рентгеноспектрального аналізу показав, що вміст Оксигену зростає з підвищенням початкової температури на інтервалі від 19 до 950 °C при яких відбулось КЗ, від 3,05 % до 6,51 %, це підтверджує, що КЗ не було першопричиною загоряння.

7. На основі проведених металографічних досліджень встановлено, що в умовах КЗ мідних провідників спостерігається формування литої структури у всьому діапазоні досліджуваних температур. Характер руйнування металу режимами КЗ залежить від температури провідника. Розбризування металу спостерігається при температурах нагрівання 250 та 300 °C, що пов'язане з утворенням міжзеренних пошкоджень і тріщин під дією напружень, викликаних високими температурами, що виділяються іскрами та мікродугами. Ця температура супроводжується випаровуванням матеріалу в локальних мікрооб'ємах. Розбризування металу під час КЗ при температурах 19 °C та вище 400 °C не відбувається. Відсутність розбризування металу при температурах вище 400 °C пов'язана із його пом'якшенням і відповідною зміною модуля пружності (E) та границі міцності ( $\sigma_B$ ). Із підвищенням температури КЗ відмінність у геометричних параметрах провідників стає більшою.



8. Шляхом експериментальних досліджень виявлено, що при початковій температурі 400 °С і подальшому короткому замиканні в мікроструктурі мідного провідника утворюється дендритна структура, яка чіткіше виражена у випадку травлення реактивом ( $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$  – 8 гр.,  $\text{H}_2\text{O}$  – 100 мл) і менш виражена у випадку використання реактиву ( $\text{FeCl}_3$  – 25 гр.,  $\text{HCl}$  - 50 мл,  $\text{H}_2\text{O}$  – 12 мл), що спростовує твердження чинних методичних рекомендацій, де вказано, «дендритна структура є стійкою ознакою первинності КЗ».

## РОЗДІЛ 4

### ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДУ ВИЯВЛЕННЯ ПРИЧЕТНОСТІ ВНУТРІШНІХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ДО ВИНИКНЕННЯ ПОЖЕЖІ

#### 4.1. Характеристика недоліків чинної методики пожежно-технічної експертизи провідників зі слідами оплавлень

Питання про можливу причетність КЗ до пожежі звичайно виникає в тому випадку, коли в згорілому приміщенні знаходять електропроводи зі слідами оплавлення. Однак оплавлення провідників поряд зі струмами КЗ можуть бути викликані і зовнішнім тепловим впливом.

Спроби визначення причетності аварійних режимів електромережі до виникнення пожежі відносять до 50-х років ХХ ст. Тоді німецькими вченими [2, 3] за основу для дослідження мідних КПВ було взято їх здатність до активного поглинання кисню повітря при нагріванні з утворенням  $\text{CuO}$  і  $\text{Cu}_2\text{O}$ . Вважалося, що при ПКЗ ця здатність буде високою оскільки нагрівання буде відбуватись в не задимленому середовищі, і навпаки – при полум'яному нагріванні, коли середовище буде збідненим на кисень ця здатність буде низькою. Таким чином за допомогою металографічного методу можна визначити вміст  $\text{CuO}$  і  $\text{Cu}_2\text{O}$  в обох випадках.

Згодом російським вченим Смелковим Г.И. після проведення ряду дослідів було встановлено, що мідь дуже активно взаємодіє з киснем як в чистому, так і в задимленому середовищі і металографічний метод не дає змоги чітко встановити кількісний вміст  $\text{CuO}$  і  $\text{Cu}_2\text{O}$ . На основі цих досліджень почав використовуватися метод рентгеноструктурного аналізу, який в багатьох випадках перевершував металографічний метод [5]. Основним критерієм, який вказує на первинність або вторинність КЗ при дослідженні провідників рентгеноструктурним методом, є відмінність в

структурі і в ступені окиснення окремих ділянок провідників, що пов'язане з різною послідовністю термічних впливів на них відкритого полум'я і струмів КЗ, а також з характером довкілля в момент виникнення КЗ.

Також проводились дослідження науковцями США з метою визначення характерних відмінностей в струмопровідних жилах оплавлених пожежею, струмами перевантаження і КЗ [4]. На підставі отриманих даних можна стверджувати, що при зовнішній тепловій дії достатньої інтенсивності може виникнути розплавлення міді по всій довжині; при цьому центральна частина провідника залишиться не розплавленою. Однією з найважливіших ознак, яка вказує на дію відкритого полум'я, є цілісність провідників в місцях проходження через конструкції, що екранують теплове випромінювання. Характерними ознаками оплавлення провідників дугою КЗ є локальність оплавлення. Оплавлення можуть мати кулеподібну, овальну, краплеподібну форму з гладкою, витягнутою і нерівною поверхнями.

Крім візуальних спостережень наводяться деякі результати металографічних досліджень. Оплавлення при пожежі залишають на шліфі, виготовленому з мідного дроту, «серцевину нерозплавленої міді». При електричному нагріванні утворюється велика кількість газових пустот в металі провідника. Але ці ознаки трапляються не завжди і не мають необхідної відтворюваності.

На сьогодні в Москві [114], розроблений і використовується в практиці метод дефектоскопії проникним випромінюванням. Під дефектоскопією проникним випромінюванням розуміють метод визначення рентгенівським і  $\gamma$ -випромінюванням внутрішніх дефектів у виробах без їх руйнування. Метод зводиться до виявлення частинок металу, які утворилися в процесі КЗ в матеріалі ізоляції провідників.

На основі вище згаданих досліджень розроблено велику кількість методичних вказівок для встановлення причетності елементів електричних мереж до виникнення пожежі [5, 6, 76-78, 85, 86, 88]. Разом з тим, висновки

про причетність елементів внутрішніх електричних мереж до виникнення пожеж в деяких випадках є недостатньо обґрунтованими. Це пов'язано із різними способами прокладання проводів і їх здатністю запалювати горючі елементи конструкцій. Загоряння виникає у випадках, коли після нагрівання з'являється полум'я, яке буде підтримуватись наявністю достатньої кількості окиснювача і горючого середовища. Чинна методика проведення пожежно-технічного обстеження [115], 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 врахування використання сучасних оздоблювальних та ізоляційних матеріалів.

#### **4.2. Порівняльний аналіз результатів фізичних методів дослідження мідних провідників**

Перед експертами завжди стоїть запитання, що стало причиною пожежі?: чи коротке замикання виникло через несправність електромережі (старіння та перетирання ізоляції, дотикання дротів у місцях з'єднань, виконаних скруткою, проникнення води у з'єднувальні коробки тощо), чи КЗ виникло під час розвитку пожежі та які методи і способи необхідно застосовувати для експертизи причин, щоб отримати якнайточнішу оцінку передпожежної ситуації.

Під час проведення досліджень встановлено, що метод рентгенофазового аналізу дає змогу встановити вміст елементів фази по дифрактограмах 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 – визначити вміст елементів до 1 %. У випадку неможливості отримати ознаки причетності внутрішніх електромереж до виникнення пожежі методом рентгенофазового та

мікроструктурного аналізів, 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.

Мікроструктурний аналіз змін, які відбулися в мідному провіднику після термічної дії на нього, за допомогою металографії можна провести двома способами: визначенням кількісного вмісту оксиду міді (I) та за структурною зміною зерен міді і розподілом оксиду міді (I) у досліджуваному провіднику.

В структурі міді після вогневого впливу змінюється форма зерен. Вони мають більші розміри, деякі з них від теплового перенапруження отримують зсув по гранях кристалічних ґраток.

Рентгенофазовий аналіз ґрунтується на явищі дифракції рентгенівських променів, метод дослідження структури провідника за розподілом в просторі та інтенсивністю розсіяного на аналізованому об'єкті рентгенівського випромінювання. За допомогою цього методу можна досліджувати будь-які речовини, матеріали та сплави без руйнування об'єкта дослідження.

Завдяки застосуванню методу рентгеноструктурного аналізу ми можемо глибоко вивчити структурні зміни, які відбуваються в металах і сплавах внаслідок термічної дії пожежі, і визначити її причину.

В ході рентгеноструктурного аналізу досліджуваний зразок розміщують на шляху рентгенівських променів і реєструють дифракційну картину, що виникає в результаті взаємодії променів з речовиною. На наступному етапі дослідження аналізують дифракційну картину і розрахунковим шляхом встановлюють взаємне розташування частинок в просторі, що викликало появу цієї картини.

Методу рентгеноструктурного аналізу також властиві серйозні обмеження. Для проведення повного рентгеноструктурного аналізу необхідно, щоб речовина добре кристалізувалася і давала досить стійкі

кристали. Необхідно проводити дослідження при високих температурах. Це дуже ускладнює проведення дослідів. Повне дослідження є дуже трудомістким, тривалим і пов'язане з великим обсягом обчислювальної роботи.

Спектральний аналіз використовується для дослідження хімічного складу матеріалів.

В основі спектрального аналізу металів лежить принцип індивідуальності спектрів поглинання і випускання у різних металів. Кожен метал має певний хімічний склад елементів, що і дає змогу проводити по відношенню до нього спектральний аналіз. Спектральний аналіз металів на сучасному етапі є одним з найбільш ефективних, точних, чутливих та інформативних видів якісного аналізу досліджуваних металів.

Виконаний аналіз методів дослідження показує, що найефективнішим є метод локального рентгеноспектрального аналізу, який забезпечує високу ймовірність завдяки кількісним характеристикам.

#### **4.3. Обґрунтування вибору оптимального методу встановлення причин виникнення пожеж від електричних мереж**

Вивчення матеріалів справи надає експерту можливість ознайомитись з обставинами і місцем виникнення пожежі, тією інформацією, що стосується технічного стану та режиму роботи електромережі на об'єкті пожежі.

Завданням дослідження матеріалів справи є встановлення попереднього часово-просторового зв'язку між режимом роботи електромережі (чи конкретного електричного пристрою) та місцем виникнення пожежі.

Цього можна досягнути шляхом вивчення протоколів огляду місця пожежі, схем, фото і таблиць до них, протоколів слідчих дій, технічної документації на об'єкт пожежі, висновків попередніх експертиз тощо.

За результатами вивчення матеріалів справи можуть бути отримані дані про режими експлуатації електрообладнання, особливості монтажу та стан електропроводки, про несправності електрообладнання, які раніше спостерігалися, та ін.

Об'єктами електротехнічної експертизи є: електрообладнання, електроприлади та їх фрагменти, електропровід, кабелі, пристрої електрозахисту (плавкі запобіжники, автоматичні вимикачі), електрокомутуючі пристрої тощо.

Основна задача огляду провідників на місці пожежі – це їх відбір для дослідження фізичними методами.

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 [116].

Металографічні дослідження - це комплекс випробувань і аналітичних заходів, спрямований на вивчення макроструктури і мікроструктури металів, дослідження закономірностей утворення структури і залежностей впливу структури на механічні, електричні та інші властивості металу.

При металографічному дослідженні виконується ряд операцій, в результаті яких отримують достовірні дані по якісному і кількісному складу матеріалу. Будь-яке металографічне дослідження включає в себе чотири етапи:

- відбір взірців;
- підготовка взірців;
- металографічний аналіз;
- статистична обробка результатів аналізу.

Для проведення металографічного дослідження використовують таке обладнання:

- відрізнi верстати;

- устаткування для холодної заливки;
- шліфувально-полірувальні верстати;
- сушильні шафи;
- мікроскопи в комплексі з системами аналізу зображень;
- твердоміри і мікротвердоміри.

Виготовлення зразка, як частина металографічного дослідження, починається з відбору взірців. Послідовність і вибір способів обробки металографічних взірців значною мірою визначаються завданням дослідження. До відбору взірців відносяться вибір, відбір і опис досліджуваного зразка.

Крім заходів підготовки для оптичних досліджень (відбір взірців, підготовка шліфів, шліфування, полірування і травлення), в металографічне дослідження обов'язково входить процедура розпізнавання і аналізу структури за допомогою мікроскопії. Крім того, сьогодні складно уявити собі металографічні дослідження без сучасних систем аналізу зображення (комп'ютер, програмне забезпечення, USB-камера).

Очевидно, що найбільш характерним видом металографічного дослідження є виявлення мікроструктури металів, потім аналіз мікроструктури металів (сплавів), а також аналіз макроструктури.

Варто відзначити, що повноцінний металографічний аналіз неможливий без якісної підготовки поверхні зразка, основною вимогою до якості металографічного шліфа являється мінімальна рельєфність його поверхні. Чим нижча якість поверхні шліфа, тим нижча точність визначення параметрів структури.

Для проведення металографічних досліджень мікроструктури мідного провідника готується шліф. Структуру шліфа доцільно досліджувати при збільшенні у 100 – 500 разів, а фотографування його робити в мінімальний проміжок часу, щоб уникнути окиснення.



Після зовнішнього теплового впливу змінюється форма (мікроструктура) зерен міді.

Особливе значення для результатів дослідження має вибір місця, з якого вилучають зразок, і вибір площі, по якій треба приготувати шліф. Цей вибір залежить від мети дослідження і форми деталі.

На рис. 4.1 показано зміну питомої поверхні прокату з осью симетрією структури, що має три зони структурної неоднорідності, вісь симетрії 0-0 [56, 57].

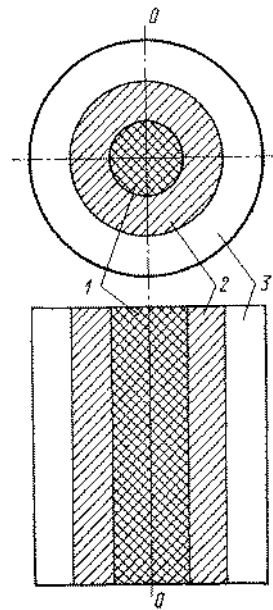


Рисунок 4.1 – Схема поперечного та поздовжнього перетинів зразка

При подальшій прокатці неоднорідність його вихідної структури частково успадковується в структурі зразка. Структура набуває волокнистої будови і певної просторової орієнтації, залежно від кінцевого профілю зразка. Структура отриманого зразка також матиме вісь, або площину симетрії.

Розглянемо два типових випадки, що трапляються найчастіше: прокатаний метал круглого профілю і листовий прокат.

Для наочності уявімо неоднорідність структури прокатоного круглого зразка у вигляді трьох різнорідних зон 1-3, показаних на рис. 4.1. Віссю симетрії структури є вісь прокатоного зразка 0-0.

На поперечному шліфі площі зон 1-3 становлять відповідно 0,11; 0,33 і 0,56 площі шліфа. Тому середнє зважене значення параметра  $C$  по поперечному шліфі дорівнюватиме:

$$C_{\perp} = 0,11C_1 + 0,33 C_2 + 0,56 C_3 \quad (4.1)$$

На поздовжньому осьовому шліфі площі зон 1-3 однакові і рівні 0,33 площі шліфа кожна. Тому середнє зважене значення параметра  $C$  по поздовжньому шліфу дорівнюватиме:

$$C_{\parallel} = 0,33C_1 + 0,33 C_2 + 0,56 \quad (4.2)$$

Видно, що обсяг кожної з зон дорівнює її площі на поперечному шліфі, помноженої на довжину зразка. Отже, частки зон 1-3 в обсязі зразка дорівнюють часткам їх площ на поперечному шліфі. Тому середнє значення параметра  $C$ , дійсне для всього обсягу зразка, збігається з середнім значенням цього параметра, визначеним на поперечному шліфі  $C_{\perp}$ , але не на поздовжньому. Звідси випливає, що площа шліфа повинна бути перпендикулярною до осі симетрії структури. Вимірювання цікавого для нас параметра проводять рівномірно по всій площі поперечного перерізу або, якщо вона велика – по всій площі будь-якого сектора цього перерізу.

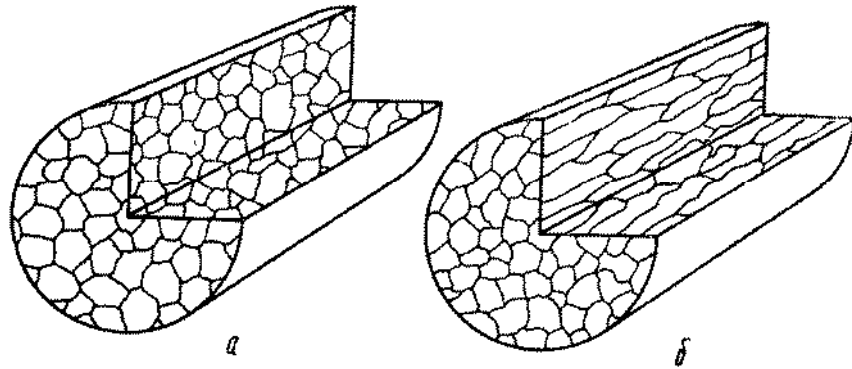


Рисунок 4.2 – Схема поперечного та поздовжнього шліфа:  
 а - рівноосні мікрочастинки;  
 б - витягнуті мікрочастинки

Цей висновок поширюється і на виливки круглого перетину, що мають вісь симетрії структури. Однак у тих випадках, коли структура має просторову орієнтацію, поперечний шліф не може дати повного уявлення про структуру. Як показано на рис. 4.2, при тотожній формі і розмірах зерен на поперечному шліфі, їх просторова форма може сильно різнитися: бути рівною або ж різною мірою витягнутою вздовж осі прокату.

Часто площину, на якій проводять вивчення мікроструктури, вибирають перпендикулярною до поверхні відводу тепла, для того, щоб можна було визначити структуру в периферійних і внутрішніх шарах металу.

Для вивчення макроструктури взірця вирізають кілька зразків (темплетів) таким чином, щоб можна було визначити зміну структури по ряду поперечних перерізів.

Структуру сплавів, що пройшли термічну обробку, перевіряють як в поверхневих, так і в більш глибоких шарах деталі, відповідно до чого і виготовляють зразки для мікроаналізу.

Поверхня зразка, за якою будуть проводитися металографічні дослідження, піддається спеціальній обробці. В першу чергу отримують приблизно плоску поверхню.

Зразки невеликих розмірів для полегшення обробки поміщають в спеціальний затискач, що складається зазвичай з двох пластин, які можна за допомогою гвинтів зближувати і розсовувати.

Заливку роблять у такий спосіб: на металеву або керамічну пластинку встановлюють круглу або квадратну оправу (напр. із алюмінію) і всередині оправлення розміщують зразок таким чином, щоб підготовлена поверхня спиралася на пластинку. Потім оправлення заливають епоксидною смолою або іншими швидкотвердіючими пластмасами з досить щільним заповненням.

Після затвердіння зразок шліфують наждачним папером, розміщеним на плоскій підставі (зазвичай на склі), або закріпленим за допомогою затискних кілець, або наклеєним на обертовий круг.

Шліфування проводять послідовно наждачним папером різного сорту, спочатку з більшим зерном абразиву, а потім з більш дрібним. Напрямок руху зразка по наждачному папері або положення зразка щодо напрямку кола при зміні сорту паперу змінюють на  $90^\circ$  для кращого видалення подряпин і рисок, створених попереднім шліфуванням, а видалення частинок абразивного матеріалу, що залишаються на поверхні зразка після шліфування, проводять обдуванням повітрям або промиванням водою.

При шліфуванні дуже м'яких металів абразивні частинки, що вириваються з наждачного паперу можуть легко вдавлюватися в поверхню м'яких металів, тому наждачний папір попередньо змочують в гасі або натирають парафіном. Останнє застосовують, наприклад, при виготовленні шліфів з алюмінію.

Поліруванням площини зразка видаляють дефекти, які залишилися після шліфування. Застосовують механічний, хіміко-механічний і електрохімічний способи полірування.

1. Механічне полірування проводять на обертовому колі з натягнутим або наклеєним полірувальним матеріалом (фетр, оксамит, тонке сукно), на

який безперервно або періодично наносять абразивну речовину з частинками дуже малих розмірів (оксид хрому, оксид алюмінію, оксид заліза і т. д.). Ці абразивні речовини попередньо змочують у воді, і наносять на коло.

Полірувальний круг повинен бути вологим, а натискання зразка на коло – незначним. Швидкість обертання круга діаметром 250 мм повинна бути 400-600°об/хв.

Полірування вважається закінченим, коли поверхня зразка набуває дзеркальний блиск і навіть під мікроскопом не видно рисок або подряпин.

2. Хіміко-механічне полірування проводять полірувальним кругом, на який разом з абразивом наносять хімічні речовини, що сприяють більш швидкій обробці.

Для полірування чорних металів застосовують пасту «ГОЯ». Ця паста випускається трьох сортів за зернистістю і складається з триоксиду хрому, стеарину, гасу, силікагелю та інших речовин.

Для полірування кольорових і деяких рідкісних металів застосовують хімічно активні реактиви, які прискорюють процес полірування, а в деяких випадках – виявляють також мікроструктуру без спеціального подальшого травлення.

3. Електрохімічне полірування проводять, поміщаючи зразки в електролітичні ванни і приєднуючи їх до позитивного полюса. Катодом зазвичай є пластинка з нержавіючої сталі. Шліфовану поверхню зразка розташовують навпроти катода.

Цей спосіб є більш досконалим, забезпечує швидке проведення операції полірування, дає змогу повністю уникнути зміни структури поверхневого шару зразка і, крім того, іноді виявляє особливості мікроструктури, які не виявляються після полірування механічним способом і хімічного травлення. Важливою перевагою електрохімічного полірування є видалення наклепу поверхневих шарів, який може утворитися при

шліфуванні або механічному поліруванні металів (особливо при виготовленні шліфів металів невисокої твердості).

Після полірування, не залежно від способу його виконання, шліф промивають водою, потім, якщо сплави окислюються, промивають спиртом і просушують фільтрувальним папером.

Вивчення мікроструктури починають з розгляду шліфа в нетравленому вигляді після полірування і промивки. В цьому випадку в полі зору мікроскопа можна помітити окремі, зазвичай невеликі, темні ділянки. Вони можуть представляти: а) неметалеві включення; б) дрібні пори; в) структурні складові, характерні для деяких сплавів (наприклад, графіт у сірому чавуні).

Крім того, неметалеві включення володіють меншою здатністю, ніж метали. З цих причин ділянки оксидів, сульфідів і силікатів здаються в полі зору мікроскопа темними.

Кількість і характер розподілу неметалевих включень визначаються порівнянням виду спостережуваної поверхні шліфів (зазвичай при збільшенні в 100 разів) зі спеціально розробленими шкалами включень.

Природа включень при мікроаналізі може бути встановлена:

1) спеціальним травленням, що викликають розчинення або фарбування включень;

2) оглядом шліфа в поляризованому або ультрафіолетовому світлі.

Мікропори, що представляють собою поглиблення в шліфах, також виявляються у вигляді темних ділянок. Щоб відрізнити мікропори від включень, шліф злегка виводять з фокусу, повертаючи мікрометричний гвинт мікроскопа, і знову наводять на фокус; при цьому краї мікропор, на відміну від неметалевих включень, то сходяться, то розходяться. Після перегляду шліф піддають травленню.

Зерна чистих металів або твердих розчинів мають неоднакову кристалографічну орієнтацію. Тому на приготовлену площину шліфів припадають зерна, зрізані по різних кристалографічних напрямках і мають у

цих напрямках неоднакові властивості. Якщо шліф піддати дії хімічно активного середовища (розчинів кислот, солей, лугів і т. д.), то величина окремих зерен виявиться різною. Світловий потік, спрямований через об'єктив на шліф, відбивається по-різному від різних зерен, на ділянках стиків зерен виникає значне розсіювання і відбиті промені не потрапляють в поле зору, тому по границях зерен виникають темні лінії, які й відтворюють картину дійсних стиків між зернами. Цей ефект значною мірою зростає також і тому, що по границях зерен зосереджується багато домішок, наявні в металі або сплаві, темні лінії, що вказують на межі зерен, виступають дуже чітко.

В сплаві, що має дві або декілька фаз, ці фази можуть відрізнитися за величиною електрохімічного потенціалу, тому зерна кожної фази по-різному поведуться при травленні. Внаслідок наявності деякої кількості косих світлових променів фази відкидають тінь на більш сильно протравлені і розташовані нижче фази, в результаті чого утворюються тіньові картини. Цей ефект посилюється через розсіювання променів, відбитих більш глибоко розташованими і більш сильно протравленими фазами.

Для виявлення мікроструктури шліфів мідних провідників здійснюється їх хімічне травлення. Для цього використовують такі травники:

*а) Основні травники для виявлення макроструктури міді і її сплавів:*

1. Азотна кислота різної концентрації. Застосовують для чистої міді і її сплавів.
2. 10-20 % -ний водний розчин персульфату амонія. Для латуней і бронз.
3. 10 % -ний розчин перекису водню в насиченому водному розчині аміаку. Для латуней і бронз.

Шліф занурюють в кислоту і витримують до виявлення структури, після чого промивають в гарячій воді і просушують.

*б) Основні травники для виявлення мікроструктури міді і її сплавів:*

1. Хлористе залізо 10 г, соляна кислота 25 см<sup>3</sup>, вода 100 см<sup>3</sup>. Травник наносять на поверхню шліфа, після витримки протягом 15-20 с. шліф пропромивають в проточній воді. Для міді, латуней, олов'янистих і алюмінієвих бронз.

2. Подвійна сіль хлористої міді і хлористого амонію 10 г, вода 100 см<sup>3</sup>, аміак (до отримання нейтральної або лужної реакції). Травник наносять на поверхню шліфа і після деякої витримки промивають в проточній воді. Для виявлення дендритної структури литих мідних сплавів [55].

В результаті на поверхні шліфа під мікроскопом можна побачити контури зерен і окремих фаз, визначити їх взаємне розташування, тобто побачити мікроструктуру міді.

Цей метод дає змогу за допомогою зміни мікроструктури та розмірів зерен визначати причетність провідників електричних мереж до виникнення пожеж. Він є найменш часозатратним, економічнішим, не потребує спеціальних знань та навиків для роботи на обладнанні.

#### **4.4. Розробка методики виконання досліджень причетності внутрішніх електричних мереж до виникнення пожеж**

На основі виконаних досліджень рекомендується вдосконалена методика проведення експертизи елементів внутрішніх електричних мереж житлових та громадських будівель з метою виявлення першопричини виникнення пожежі, яка полягає в наступному:

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.

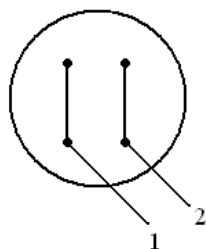


II етап – Визначення ділянок проводів електромереж для подальших досліджень. Встановлюється схема внутрішніх електромереж, марка кабельно-провідникового виробу, чи є ділянки неушкоджених провідників, місця можливого виникнення КЗ, провідники з пошкодженою ізоляцією та слідами нагрівання.

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 еталону відбирається ділянка провідника, яка не була 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 полягає в наступному: ділянка провідника із оплавленням розміром 7-12 мм розміщується в металевій оправці і заливається швидкотверднучою пластмасою, епоксидною смолою, тощо (рис. 4.3).



а)



б)

Рисунок 4.3 – Зовнішній вигляд шліфа: а) схема розташування взірців у металевій оправці; б) готові шліфи

Після застигання зразки шліфували на обертовому колі з абразивним папером різної зернистості. При зміні зернистості абразивного паперу, змінювали напрям шліфування на  $90^\circ$ . Після шліфування зразки полірували на обертовому колі з натягнутою тканиною на яку наносили 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 гр.,  $\text{H}_2\text{O}$  – 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 гр.,  $\text{HCl}$  - 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 і 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 утворюються 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 досить високою достовірністю стверджувати про першопричину виникнення пожеж.

#### 4.5. Висновки до розділу.

1. Чинна методика проведення пожежно-технічного обстеження, яка використовується для експертизи, не враховує сучасних підходів щодо 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. У зв'язку з цим необхідно обґрунтувати додаткові критерії, для розробки вдосконаленої методики, щоб усунути згадану розбіжність.

2. Шляхом експериментальних досліджень встановлено, що метод рентгенофазового аналізу дає змогу наближено встановити вміст  $\text{Cu}_2\text{O}$  в досліджуваних провідниках починаючи лише від температури  $400\text{ }^\circ\text{C}$ , що обмежує його можливості і є одним з його недоліків.

3. Для дослідження мікроструктур мідних провідників внутрішніх електричних мереж, які побували в умовах пожеж доцільно використовувати метод металографічного аналізу, який дає змогу отримати кількісні значення елементів (до 2-3 %), котрі появляються в структурі цих провідників. Для отримання більш повної інформації про зміну мікроструктури доцільно виготовляти шліфи у повздовжньому перерізі.

4. Якщо отримати ознаки причетності до пожеж внутрішніх електромереж методом рентгенофазового та мікроструктурного аналізів, не можливо, 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 комбінації нагрівання.

5. 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.

6. На основі багаточисельних експериментів запропоновано удосконалену методику, яка полягає в тому, що у порівнянні з існуючою пропонується додатково використовувати локальний рентгеноспектральний аналіз при цьому доцільно відбирати взірці провідників в місцях, які не мали контакту з полум'ям. Це дасть змогу точніше з'ясувати причетність КЗ чи струмового перевантаження до виникнення пожежі.

## 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 сформувавши 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 °С і стійко підтримує горіння. Загоряння відбувається від нагрітого електричним струмом провідника перерізом 1,5 мм<sup>2</sup>, 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 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 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 °С, в якому протікав струм КЗ, досяг 3,05 %, а при початковій температурі 300 °С, 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 °С 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 °С після КЗ вміст Оксигену зростає і досягає 6,51 % при температурі 950 °С. Це підтверджує те, що КЗ не було першопричиною загоряння.

7. Шляхом експериментальних досліджень мікроструктури виявлено, що при початковій температурі 400 °С 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.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналіз масиву карток обліку пожеж // Офіційний сайт УкрНДІЦЗ [Електронний ресурс]. – Доступний з : <http://undicz.mns.gov.ua/content/amkop.html>
2. Schontag A. Archiv fur Kriminologie, 115 Bd., Munchen, 1956. – S. 66.
3. Hagemuer W. Die metallographische Untersuchung von Kupferleitern als Method zur Unterscheidung zwischen primaren und sekundaren Kurzchlussen // Schriftenreihe der Deutsch Volkspolizei. – 1963. – №7 – 12. – S. 1160-1170.
4. Ettlign B. V. Electrical wiring in Builing Fires // Fire Technology. – 1978. – 14, №4. – P. 317-325.
5. Методические указания по определению причастности коротких замыканий в электропроводках с медными жилами к случаям возникновения пожаров на объектах / [Смелков Г. И., Кашолкин Б. И., Митричев Л. С. Торяник В. В.]. – М. : ВНИИПО МВД СССР, 1974. – 33 с.
6. Исследование медных и алюминиевых проводников в зонах короткого замыкания и термического воздействия / [Л. С. Митричев, А. И. Колмаков, Б. В. Степанов, Е. Р. Россинская и др.] – М. : ВНИИ МВД СССР, 1986. – 44 с.
7. 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.
8. The leading information and knowledge resources on fire electrical and related hazards // National Fire Protection Association. [Електронний ресурс]. – Доступний з : <http://www.nfpa.org/research/reports-and-statistics/fires-in-the-us>
9. The collection all documents Fire statistics of Great Britain [Електронний ресурс]. – Доступний з : [https://data.gov.uk/data/resource\\_cache/37/37091f73-cc71-4fe8-8c72-e69b93605393/fire-statistics-great-britain](https://data.gov.uk/data/resource_cache/37/37091f73-cc71-4fe8-8c72-e69b93605393/fire-statistics-great-britain)



10. Харченко І. О. Статистичні дані щодо пожеж від електротехнічних виробів / І. О. Харченко, Р. І. Кравченко, Л. М. Нефедченко, О. П. Якименко // Пожежна безпека – 2001. Збірник наукових праць – Львів : Львівський інститут пожежної безпеки МВС України / Видавництво «СПОЛОМ», 2001. – С. 275 – 277.
11. Rohr K. D., The U.S. Home Product Report (Appliances and Equipment Involved in Fires), Fire Analysis & Research Div., National Fire Protection Assn., Quincy MA (2000).
12. Smith L. E., and McCoskrie D., What Causes Wiring Fires in Residences, Fire J. 84, 19-24, 69 (Jan/Feb 1990).
13. Béland B., Electricity...The Main Fire Cause? Fire and Arson Investigator 32, 18-22 (Jan./Mar. 1982).
14. Hall, J. R., Jr., Bukowski R. W., and Gomberg A., Analysis of Electrical Fire Investigations in Ten Cities (NBSIR 83-2803), [U.S.] Natl. Bur. Stand., Gaithersburg MD (1983).
15. Гудим В. І. Аналіз стану та причин виникнення пожеж електричного походження у побутовому секторі / В. І. Гудим, П. Г. Столярчук, Ю. І. Рудик // Пожежна безпека. Збірник наукових праць. ЛПБ, УкрНДПБ МНС України. №(2)5. – 2004 р. – С. 116–121.
16. Гудим В. І. Термінологічний аналіз визначення джерел запалювання електротехнічного походження / В. І. Гудим, Ю. І. Рудик // Пожежна безпека : Зб. наук. пр. №10 – Львів : СПОЛОМ, 2007 – С.191-195.
17. Правила улаштування електроустановок. – Х. : Видавництво «ІНДУСТРІЯ», 2014. – 424 с.
18. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів : Затв. ...Наказ Міністерства палива та енергетики України 25.07.2006 № 258 (у редакції наказу Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 16.11.2012 № 905) – Х. : Видавництво «ІНДУСТРІЯ», 2013. – 320 с.

19. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів : НПАОП 40.1-1.21-98 : Затв. ...09.01.98 № 4 / Державний Комітет по нагляду за охороною праці Міністерства праці та соціальної політики України – Х. : Видавництво «ІНДУСТРІЯ», 2010. – 176 с.
20. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок : НПАОП 40.1-1.32-01 : Затв. ... Наказ Міністерства праці та соціальної політики України 21.06.2001 № 272 / – К .: Укрархбудінформ, 2001. - 120 с.
21. Материалы электроизоляционные. Методы испытания на сопротивление образованию токопроводящих мостиков и эрозии в жестких условиях окружающей среды : ГОСТ 27474-87 (МЭК 587-84). – Введ. 01.01.90. – М. : Издательство стандартов, 1988. – 9 с.
22. Системы электрической изоляции электрооборудования. Оценка и классификация : ГОСТ 27905.1-88 (МЭК 505-75). – Введ. 01.01.90. - М: Издательство стандартов, 1989. - 36 с.
23. Кулаков О. В. Електротехніка та пожежна профілактика в електроустановках [Текст] : Навчальний посібник / О. В. Кулаков, В. О. Росоха – Харків : 2003. – 362 с.
24. Королев И. С. Способ предупреждение пожаров при неисправности в электрической сети или электроустановке [Текст] / И. С. Королев, Б. М. Степанов. – М. : Безопас. Труда в пром-сти. 2002, №8, С. 24-26.
25. Коваль О. М. Вплив елементів та структури внутрішніх електричних мереж житлового сектору на їх пожежну небезпеку // Атореф. дис. на здобуття наук. Ступеня канд. техн. наук: 21.06.02 – пожежна безпека. / О. М. Коваль. – Український науково-дослідний інститут пожежної безпеки, 2008. – 20 с.
26. Гудим В. І. Обґрунтування вибору схем побутових електромереж для підвищення їх пожежної безпеки / В. І. Гудим, Ю. І. Рудик, О. М. Коваль //

- Пожежна безпека : Зб. наук. пр. – Львів : ЛДУ БЖД, 2008. – № 12. — С. 134-139.
27. Гудым В. І. Исследование физических характеристик бытовых электросетей / В. І. Гудым, Ю. І. Рудик, О. М. Коваль, А. В. Самборский // Чрезвычайные ситуации: Предупреждение и ликвидация. Сборник тезисов докладов IV Международной научно-практ. конф. Том 1. – Минск : 2007. – С. 288-291.
28. Гудим В. І. Технічне забезпечення нормативного рівня безпеки побутових електромереж / В. І. Гудим, П. Г. Столярчук, В. М. Ванько, Ю. І. Рудик // Пожежна безпека : Зб. наук. пр. №14 – Львів : СПОЛОМ, 2009 – С. 39-43.
29. Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення : ДБН В.2.5-23:2010. – [Чинні від 2010-10-01]. – К. : Укрархбудінформ, 2010. - 102 с.
30. Смелков Г. И. Пожарная опасность электропроводок при аварийных режимах / Г. И. Смелков. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 184 с.
31. Випробування на пожежну безпеку електротехнічних виробів. Частина 1-1. Настанови щодо оцінювання пожежної небезпеки. Загальні положення : ДСТУ ІЕС 60695-1-Г.2002. – К. : Держстандарт України, 2003. -IV, 48 с. – (Національний стандарт України).
32. Харченко І.О. Принципи оцінки пожежної небезпеки електротехнічних виробів / І.О. Харченко, Р.І. Кравченко // Науковий вісник УкрНДІПБ. № 2 (6) – Київ, 2002 – С.73-79.
33. Fire safety - Vocabulary / Publication ISO 13943, Ed. 1.0, 2000. - 45 pp.
34. Рудик Ю.І. Удосконалення нормативної бази для забезпечення якості електромереж низької напруги // Атореф. дис. на здобуття наук. Ступеня канд. техн. наук: 05.01.02 – стандартизація та сертифікація. / Ю.І. Рудик. – Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, 2007. – 20 с.

35. Mitsuhashi, N., Yokoi, Y., Nagata, M., and Isaka, K., Concerning the History of Deterioration in Insulated Electric Wires and Fire Hazards, J. Japanese Assn. for Fire Science & Engrg. 31, No. 1, 11-19 (1981).
36. Кравченко Р. И. Анализ метода экспериментального определения вероятности возникновения пожара от электротехнических изделий // Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції "АВІА-2000". – К. : Київський муніципальний університет цивільної авіації, 2000. – 4 с.
37. Гудим В. І. Обґрунтування необхідності контролю стану електричних мереж при наявності апаратів захисту / В. І. Гудим, Ю. І. Рудик, П. Г. Столярчук. – Зб. наук. пр. ЛДУБЖД. – Львів : СПОЛОМ, 2006. – № 9. – С. 142-146.
38. Шварц Г. К. Особенности влияния аппаратов электрической защиты на пожарную опасность электрических цепей зданий / Г. К. Шварц, А. В. Кузилин, Г. В. Боков // Пожарная безопасность многофункциональных и высотных зданий и сооружений : Материалы научно-практической конференции Москва, 2005, – С. 137-141.
39. Балашов О. П. Модель оценки качества элементов электрической защиты / О. П. Балашов // Вестник Алтайского государственного технического университета. 2003. №1. – С. 230-232.
40. Балашов О. П. Использование средств автоматизированного проектирования при разработке систем электрической защиты / О. П. Балашов // Ресурсосберегающие технологии в машиностроении: Материалы 3-й Всероссийской научно-практической конференции 25-26 сентября 2003 г. Бийск : АлтГ-ТУ, 2003. – С. 152-155.
41. Гудим В. І. Контроль надійності електричних мереж соціально-побутових будівель / В. І. Гудим, П. Г. Столярчук, Ю. І. Рудик // Вісник Приазовського державного технічного університету: Зб. наук. пр. – Вип. 15. – 4.2. – Маріуполь, 2005. – С. 107-112.

42. Babrauskas V., "Research on Electrical Fires: The State of the Art," Fire Safety Science-Proc. 9th Intl. Symp., Intl. Assn. for Fire Safety Science, London, 2009.
43. Смелков Г. И. Пожарная безопасность электропроводок : [монография] / Смелков Г. И. – М. : КАБЕЛЬ пром, 2009. – 328 с.
44. Ettling, B. V., Ignitability of PVC Electrical Insulation by Arcing, IAAI-Oregon Chapter Newsletter, 6 (Mar. 1997).
45. Экспертное исследования после пожара контактных узлов электрооборудования в целях выявления признаков больших переходных сопротивлений. Методические рекомендации. Москва, 2008 – 17 с.
46. Правила пожежної безпеки в Україні. – К. : Основа, 2015. – 120 с.
47. Коваль О. М. Технічні засоби підвищення рівня пожежної безпеки побутових електромереж / О. М. Коваль // Пожежна безпека: Зб. наук. пр.- Львів : ЛДУ БЖД, 2007.– №10. — С.134-139.
48. Nazarovets O. B. Features of changing the structure of copper conductors in terms of the current complex and high temperature / O. B. Nazarovets, V. I. Gudym, O. A. Kuzin // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, III(6), Issue : 54, 2015. P. 47–51.
49. Вироби кабельні. Терміни й визначення : ГОСТ 15845-80. – Взамен ГОСТ 15845-70; Введ. 01.07.81. - М. : Издательство стандартов, 1981. – 29 с.
50. Белоруссов Н. И. Электрические кабели и провода / Н. И. Белоруссов. - М. : Энергия, 1971 – 512 с.
51. Кабели, провода и шнуры. Методы проверки на нераспространение горения : ГОСТ 12176-89. - Взамен ГОСТ 12176-76; Введ. 01.07.90. - М.: Издательство стандартов, 1990. - 12 с.
52. Провода и шнуры на напряжение до 450/750 В. Технические условия : ГОСТ 7399-97. - Взамен ГОСТ 7399-80; Введ. 01.07.01. - К.: Госстандарт Украины с дополнениями и поправкой, 2000. - 31 с.

53. Кикоин И. К. Справочник физических величин. Справочник под ред. академ. И. К. Кикоина. – М. : Атомиздат, 1976. – 1008 с.
54. Сучков Д. И. Медь и ее сплавы / Даниил Иванович Сучков. – М. : Metallurgia, 1966. – 248 с.
55. Мальцев М. В. Metalлография промышленных цветных металлов и сплавов [Текст] : 2-е изд. / М. В. Мальцев. – М. : Изд-во «Metallurgia», 1970. - 364 с.
56. Колачев Б. А. Metalловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов [Текст] : 3-е изд., перераб. и доп. / Б. А. Колачев, В. И. Елагин, В. А. Ливанов. - М. : «МИСИС», 1999. – 416 с.
57. Лахтин Ю. М. Метериаловедение / Ю. М. Лахтин, В. П. Леоньева. –3-е изд., перераб., и доп. – М. : Машиностроение, 1990. – 528 с.
58. Metalлознавство : [Підручник. 2-ге видання, перероблене і доповнене] / О. М. Бялік, В. С. Черненко, В. М. Писаренко, Ю. Н. Москаленко. – К. : Політехніка, 2002. – 384 с.
59. Горелик С. С. Рекристаллизация металлов и сплавов [Текст] : 3-е изд. / С. С. Горелик, С. В. Добаткин, Л. М. Капуткина – М. : «МИСИС», 2005. – 432 с.
60. Болховитинов Н. Ф. Атлас макро - и микроструктур металлов и сплавов : 3-е изд., перераб. и доп. / Н. Ф. Болховитинов, Е. Н. Болховитинова. – М. : Машгиз, 1964. – 104 с.
61. Брандон Д. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля / Д. Брандон, У. Каплан. – М. : Техносфера, 2004. – 384 с.
62. Королев И. С. Предупреждение пожаров, возникающих при неисправности в электрической сети или электроустановке / И. С. Королев, Б. М. Степанов // Пожар. безопас. : 2003, №1 – С. 55-58.
63. Смелков Г. И. Пожарная безопасность кабельных изделий: проблемы нормирования / Г. И. Смелков, В. А. Пехотиков, А. И. Рябиков // Пожар.безопас. : 2005, №4, – С. 96-105.

64. Пожарная безопасность кабельного хозяйства. Brandschutzer fur Kabel und Leitungen. Muschong Michael. DE:Electro- und Gebaudetechn. 2005. 80 №10, – С. 45-46.
65. Огнестойкость кабельной продукции (США) Reducing fire risks target of new code. Build. Oper. Manag. 2003.50,№1 – С. 64-65.
66. Балашов О. П. Оптимизационные методы исследования систем электропожаробезопасности / О. П. Балашов, О. К. Никольский // Вестник Алтайского государственного технического университета. 2003. №1. – С. 47-50.
67. Зайцева М. Л. Испытания нагретой проволокой / М. Л. Зайцева, А. Н. Кухто, Р. Ф. Садыков // Пожарная профилактика в электроустановках: Сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1991. – С. 79-82.
68. Никольский О. К. Повышение пожаробезопасности в установках низкого напряжения при возникновении перенапряжения большой кратности / О. К. Никольский, О. П. Балашов // Региональные аспекты обеспечения социальной безопасности населения Юга-Западной Сибири – проблемы снижения рисков и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: Материалы 2-й Международной научно-практической конференции 10 декабря 2004 г. Барнаул : Изд-во АлтГТУ. – С .16-17.
69. Кухто А. Н. Вычисление вероятности воспламенения на основе лабораторных испытаний / А. Н. Кухто // Пожарная профилактика в электроустановках : Сб. науч. тр. – М. : ВНИИПО МВД СССР, 1991. – С. 19-25.
70. Бернштейн Л. М. Изоляция электрических машин общего назначения. – 3-е изд., перераб. и доп. / Л. М. Бернштейн. – М. : Энергоиздат, 1981. – 376 с/

71. Noto, F., and Kawamura, K., Tracking and Ignition Phenomena of Polyvinyl Chloride Resin Under Wet Polluted Conditions, IEEE Trans. Elec. Insul. EI-13, 418-425 (1978).
72. Nagata, M., and Yokoi, Y., Deterioration and Firing Properties of Polyvinyl Chloride Covering Cords at Elevated Temperatures, Bull. Japan Assn. of Fire Science and Engineering 33:2, 25-29 (1983).
73. Hagimoto, Y., Watanabe, N., and Okamoto, Arcing Faults on PVC-covered Electrical Cords, pp. 221-224 in Proc. 1<sup>st</sup> Conf. of the Assn. of Korean-Japanese Safety Engineering Society, Kyongju, Korea (1999).
74. Béland, B., Electrical Damages—Cause or Consequence? J. Forensic Sciences 29, 747-761 (1984).
75. Перхач В.С. Теоретична електротехніка : лінійні кола: Підручник. / В. С. Перхач. – К. : Вища шк. 1992. – 439 с.
76. Чешко И. Д. Экспертиза пожаров (объекты, методы, методики исследования) [Текст]: 2-е изд / И. Д. Чешко, под науч. ред. канд. юр. наук Н. А. Андреева. – СПб. : СПБНИИПБ МВД России, 1997. – 562 с.
77. Граненков Н. М. Экспертное исследование металлических изделий (по делам о пожарах) : Учебное пособие / [Граненков Н. М., Зернов С. И., Колмаков А. И. и др.] – М. : ЭКЦ МВД РФ, 1994. – 104 с.
78. Семочко Г. Ю. Комплексне дослідження пожеж / Г. Ю. Семочко, Т. Б. Юзьків, В. Ф. Желавський. Навчально-методичний посібник. – Львів : "Львівська політехніка", 2001. – 56 с.
79. ГОСТ 27924-88 (МЭК 695-2-3-84). Испытания на пожароопасность. Методы испытаний. Испытания на плохой контакт при помощи накаливаемых элементов. - Введ. 01.01.90. - М: Издательство стандартов, 1989. - 16 с.
80. ГОСТ 27483-87 (МЭК 695-2-1-80). Испытания на пожароопасность. Методы испытаний. Испытания нагретой проволокой. - Введ. 01.01.89. - М. : Издательство стандартов, 1988. - 8 с.



81. ГОСТ 27484-87 (МЭК 695-2-2-80). Испытания на пожароопасность. Методы испытаний. Испытания горелкой с игольчатым пламенем. - Введ. 01.01.89. - М.: Издательство стандартов, 1988. - 8 с.
82. 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.
83. Гудим В. І. Дослідження умов загорянь оздоблювальних будівельних матеріалів від електричних мереж // В. І. Гудим, О. Б. Назаровець // Пожежна безпека – 2011 : Матеріали Х Міжнародної науково-практичної конференції, 17–18 листопада 2011 р. – Харків : НУЦЗ України, 2011. – С. 93.
84. Демидов П. Г. Горение и свойства горючих веществ / П. Г. Демидов, В. А. Шандыба, П. П. Щеглов. – М. : Химия, 1981. – 272 с.
85. Коротких Н. И. Методическое пособие по установлению причин возникших пожаров и подготовка материалов для проведения пожарно-технических экспертиз / Н. И. Коротких, В. И. Мартынюк. - Черновцы, 1982.
86. Методи дослідження пожеж. Методичний посібник. УкрНДІПБ. Київ. 2009.-239с.
87. 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 : Збірник тез II Міжнародної науково-практичної конференції – Л. : ЛДУ БЖД, 2011. – С. 67–69.
88. Шульгин С. О. Специальные инструментальные методы и средства обеспечения предварительного и экспертного исследования объектов

- пожарно-технической экспертизы [Текст]: Учебное пособие / С. О. Шульгин, А. И. Колмаков, В. Ю. Ключников и др. – М. : ГУ ЭКЦ МВД РФ, 2003. – 96с.
89. Богомолова Н. А. Практическая металлография / Н. А. Богомолова. - М. : Высшая школа, 1978. – 272 с.
90. Панченко Е. В. Лаборатория металлографии / Е. В. Панченко, Ю. А. Скаков, Б. И. Криммер ; Учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Металлургия, 1965. – 440 с.
91. Вашуль Х. Практическая металлография. Методы изготовления образцов / Пер. с нем. – М.: Металлургия, 1988. – 320 с.
92. Золотаревский В. С. Механические свойства металлов / 3-е изд., перераб. и доп. – М.: МИСИС, 1998. – 400 с.
93. Новиков И. И. Теория термической обработки металлов / Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1986. – 480 с.
94. Салтыков С. А. Стереометрическая металлография [Текст] / С. А. Салтыков. – М. : Изд-во «Металлургия», 1976. - 270 с.
95. Горелик С.С, Рентгенографический и электронографический анализ. – М., Металлургия, 1970.
96. Русаков А. А. Рентгенография металлов / А. А. Русаков. Учебник для вузов. – М. : Атомиздат, 1977, – 480 с.
97. Новиков И. И. Металловедение, термообработка и рентгенография / И. И. Новиков, Г. Б. Строганов, А. И. Новиков. – М. : МИСИС, 1994. – 480 с.
98. STOE WinXPow (2.21). Hilpertstr. 10, D-64295 Darmstadt, 2007.
99. Rodríguez-Carvajal J. Recent developments of the program FullProf / J.Rodríguez-Carvajal // Commission on Powder Diffraction (IUCr). Newsletter. – 2001. – Vol. 26. – P. 12–19.
100. Akselrud L. G. Use of the CSD program package for structure determination from powder data / L. G. Akselrud, P. Yu. Zavalii, Yu. N. Grin, V.

- K. Pecharsky, B. Baumgartner, E. Wölfel // *Mat. Sci. Forum* – 1993. – Vol. 133–136. P. 335–340.
101. Louër D. Méthode d'essais et erreurs pour l'indexation automatique des diagrammes de poudre / D. Louër, M. Louër // *J. Appl. Crystallogr.* – 1972. – Vol. 5. – P. 271–275.
102. Бодак О. И. Методические указания к определению кристаллической структуры методом поликристалла / О. И. Бодак, Б. Я. Котур, О. С. Заречнюк. – Л.: Вища школа, 1983. – 22 с.
103. Boultif A. Indexing of powder diffraction patterns for low-symmetry lattices by the successive dichotomy method / A. Boultif, D. Louër // *J. Appl. Crystallogr.* – 1991. – Vol. 24. – P. 987–993.
104. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия / [Уманский Я. С., Скаков Ю. А., Иванов А. Н., Расторгуев Л. Н.]. – М. : Металлургия, 1982, – 632 с.
105. Перхач В. С. Математичні задачі електроенергетики. Видання 2-е, перероб. і доповн / В. С. Перхач. – Львів. : Вища школа. Видавництво при Львів. Ун-ті. 1982 – 380 с.
106. Лыков А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков М. : Высшая школа. 1967. – 600 с.
107. Гудим В.І. Моделювання нестационарних електротеплових процесів в побутових електромережах / В.І. Гудим, М.М. Семерак, О.М. Коваль // Пожежна безпека: Зб. наук. пр. – Львів : ЛДУ БЖД, 2006. – №9. – С.142-147.
108. Семерак М.М. Дослідження режимів нагрівання провідників електричним струмом / М. М. Семерак, В. І. Гудим, О. М. Коваль // Пожежна безпека: Зб. наук. пр. – Львів : ЛДУ БЖД, 2006. – №8. – С. 73-79.
109. 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.

110. 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.

111. 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.

112. 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 : Збірник наукових праць I Всеукраїнської науково-технічної конференції викладачів, аспірантів і студентів, 18–19 жовтня 2012 р. – м. Донецьк : ДНТУ, 2012. – С. 58–59.

113. 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 : Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 4–5 квітня 2013 р. – Черкаси : АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2013. – С. 37-39.

114. Перспективный способ диагностирования аварийных режимов в кабельных изделиях с помощью рентгеновской дефектоскопии : [Электронный ресурс] / Научный журнал КАБЕЛЬ – news / режим доступу до посилання: [http://www.kabel-news.ru/netcat\\_files/90/100/november\\_09\\_sposob\\_diagnostirovaniya.pdf](http://www.kabel-news.ru/netcat_files/90/100/november_09_sposob_diagnostirovaniya.pdf)

115. Мегорский Б. В. Методика установления причин пожаров (основные положения методики и основы пожарно-технической экспертизы). Стройиздат. М. : 1966. – 347 с.

116. 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 : Збірник наукових праць I Міжнародної науково-технічної конференції викладачів, аспірантів і студентів, 17–18 жовтня 2013р. – м. Донецьк : ДНТУ, 2013. – С. 31–33.

# ДОДАТКИ

## Додаток А

В додаток внесені протоколи випробувань: визначення умов загоряння оздоблювальних матеріалів від електричних провідників; визначення режимів перевантаження мідних провідників; визначення параметрів режимів коротких замикань мідних провідників при різній температурі.



**ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ МНС УКРАЇНИ  
НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ**

Свідоцтво про атестацію № РЛ 1645/10 від 27 вересня 2010 р.  
Ліцензія ДДПБ МНС України серія АГ № 506341 від 11.02.2011 р.

**ПРОТОКОЛ № 012/160311**

**ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ ЗАГОРЯННЯ ОЗДОБЛЮВАЛЬНИХ  
МАТЕРІАЛІВ ВІД ЕЛЕКТРИЧНИХ ПРОВІДНИКІВ НАГРІТИХ  
СТРУМОМ**

**Львів – 2011**



## ПРОТОКОЛ № 012/160311

### ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ ЗАГОРЯННЯ ОЗДОБЛЮВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ВІД ЕЛЕКТРИЧНИХ ПРОВІДНИКІВ НАГРІТИХ СТРУМОМ

Дата проведення  
випробувань: 16.03.2011 р.

Умови проведення випробувань:  
- температура 20 °С  
- атмосферний тиск 97,3 кПа  
- відносна вологість 67 %

**МІСЦЕ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ:** Електротехнічна лабораторія науково-дослідної лабораторії ЛДУ БЖД.  
Адреса: м. Львів, вул. Клепарівська, 35.

**ОБ'ЄКТ ВИПРОБУВАНЬ:** Зразки мідних провідників з гумовою та полівінілхлоридною ізоляцією, площею поперечного перерізу 1,5 – 2,5 мм<sup>2</sup>.

**ЗРАЗКИ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ:** Випробуванням піддавалися зразки мідних провідників довжиною 50-70 мм у яких створювались струмові перевантаження, які прокладались відкрито на поверхні оздоблювальних матеріалів (пінополістирол, фанера, гіпсокартон, пластикова вагонка, лакована тирсоплита).

#### **ОБЛАДНАННЯ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ**

Установка для проведення дослідів являє собою випробувальний стенд.

Випробувальний стенд складається з:

Автотрансформатора типу АНСН-20-220-75 з регульованою напругою від 0 до 240 В, живленням від мережі 220 В.

Силового трансформатора потужністю 4,5 кВА з напругою на первинній обмотці  $U_n=220$  В і напругою на вторинній обмотці 5 В. Таким чином, коефіцієнт трансформації дорівнює  $K=U/U=220/5=44$ . Максимальний струм вторинної обмотки може досягти 300 А, при цьому цей струм досягається в режимі короткого замикання.

Трансформатора струму типу ТК-20 з параметрами:  $I=300/5$  А;  $R=0,2$  Ом, 50 Гц, 0,5 кВ – робоча; 3 кВ – дослідна.

Струмовимірювальних щипців типу РК-120 зі шкалою вимірювання 0 – 300 А змінного струму і класом точності 2,5.

Амперметри і вольтметри, які використовуються для вимірювання струмів та напруг з різним діапазоном та класом точності вимірювання від 2,5 до 0,5.

Таблиця 1.

**Засоби вимірювальної техніки**

№ з/п	Найменування приладу чи обладнання	Заводський номер	Границя вимірювання	Клас точності або похибка засобів вимірювальної техніки	Дата наступної атестації, повірки
1	Регулятор-вимірювач РТ 0102-8-К	10.385 10.021	Від 0 до 1200 °С	± 2 °С	08.11 р.
2	Термопар ТХА 10	14 -16	Від 0 до 1200 °С		08.11 р.
3	Секундомір СОП	8625	Від 0 до 3600 с	2 кл	08.11 р.
4	Лінійка вимірювальна	б/н	Від 0 до 1000 мм	± 0,5 мм	08.11 р.
5	Штангенциркуль ШЦ-I-200-0,02	0805174	Від 0 до 200 мм	± 0,02 мм	08.11 р.

**МЕТОДИКА ВИПРОБУВАНЬ:** Методика полягає в проведенні досліджень поведінки горючих оздоблювальних матеріалів при прокладанні на їх поверхні мідними провідників (відкрито) перерізом – 1.5 та 2.5 мм<sup>2</sup>, у яких створювалися режими струмового перевантаження.

В якості горючих оздоблювальних матеріалів використати: пластикова вагонка, пінополістирол, лакована тирсоплита, гіпсокартон, фанера, так як вони найбільш популярні і їх найчастіше використовують для облицювання та оздоблення. Провідники використовували, як багатодротиковими так і однодротиковими жилами, з полівінілхлоридною та гумовою ізоляцією.

Провідники прокладались по підготовлених зразках оздоблювальних матеріалів у них створювалися режими струмових перевантажень. За допомогою термопар ТХА фіксувалась температура на поверхні матеріалу під провідником, а секундоміром фіксували час.

**РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ:** Результати випробувань наведено у табл. 2.

Таблиця 2

## Результати експериментальних досліджень

Час, хв	Струм, А	Вагонка пластикова	Лакована тирсоплита	Температура, °С		
				Гіпсокартон	Фанера	Пінополістирол
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

**ВИСНОВОК:** За результатами випробувань встановлено, що до найвищої температури нагрілись фанера (210°C) та пластикова вагонка (198°C), а полум'яне горіння спостерігалось лише під час випробувань пінополістиролу.

Викладач кафедри ЕППА ЛДУ БЖД  
ст. лейтенант сл. ц.з.

Провідний науковий співробітник  
НДВ ЛДУ БЖД МНС України



О.Б. Назаровець

В.Л. Петровський



**ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ МНС УКРАЇНИ  
НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ**

Свідоцтво про атестацію № РЛ 1645/10 від 27 вересня 2010 р.  
Ліцензія ДДПБ МНС України серія АГ № 506341 від 11.02.2011 р.

**ПРОТОКОЛ № 021/230512**

**ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ МІДНИХ ПРОВІДНИКІВ  
З ВИКОРИСТАННЯМ ВИПРОБУВАЛЬНОГО СТЕНДУ**

**Львів - 2012**

**ПРОТОКОЛ № 021/230512**

**ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ МІДНИХ  
ПРОВІДНИКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВИПРОБУВАЛЬНОГО СТЕНДУ**

**Дата проведення  
випробувань:** 23.05.2012 р.

**Умови проведення випробувань:**  
 - температура 20 °С  
 - атмосферний тиск 98,5 кПа  
 - відносна вологість 70 %

**МІСЦЕ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ:** Електротехнічна лабораторія науково-дослідної лабораторії ЛДУ БЖД.  
 Адреса: м. Львів, вул. Клепарівська, 35.

**ОБ'ЄКТ ВИПРОБУВАНЬ:** Зразки мідних провідників з гумовою та полівінілхлоридною ізоляцією, площею поперечного перерізу 1,5 – 2,5 мм<sup>2</sup>.

**ЗРАЗКИ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ:** Випробуванням піддавалися зразки мідних провідників довжиною 50-70 мм у яких створювались струмові перевантаження. Для випробування використовувалось по 5 зразків для кожного струмового режиму.

**ОБЛАДНАННЯ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ**

Установка для проведення дослідів являє собою випробувальний стенд.

Випробувальний стенд складається з:

Автотрансформатора типу АНСН-20-220-75 з регульованою напругою від 0 до 240 В, живленням від мережі 220 В.

Силового трансформатора потужністю 4,5 кВА з напругою на первинній обмотці  $U_n=220$  В і напругою на вторинній обмотці 5 В. Таким чином, коефіцієнт трансформації дорівнює  $K=U/U=220/5=44$ . Максимальний струм вторинної обмотки може досягти 300 А, при цьому цей струм досягається в режимі короткого замикання.

Трансформатора струму типу ТК-20 з параметрами:  $I = 300/5$  А;  $R = 0,2$  Ом, 50 Гц, 0,5 кВ – робоча; 3 кВ – дослідна.

Струмовимірювальних щипців типу РК-120 зі шкалою вимірювання 0 – 300 А змінного струму і класом точності 2,5.

Амперметри і вольтметри, які використовуються для вимірювання струмів та напруг з різним діапазоном та класом точності вимірювання від 2,5 до 0,5.

Таблиця 1

## Засоби вимірювальної техніки

№ з/п	Найменування приладу чи обладнання	Заводський номер	Границя вимірювання	Клас точності або похибка засобів вимірювальної техніки	Дата наступної атестації, повірки
1	Регулятор-вимірювач РТ 0102-8-К	10.385 10.021	Від 0 до 1200 °С	± 2 °С	08.12 р.
2	Термопари ТХА 10	15	Від 0 до 1200 °С		08.12 р.
3	Секундомір СОП	8625	Від 0 до 3600 с	2 кл	08.12 р.
4	Лінійка вимірювальна	б/н	Від 0 до 1000 мм	± 0,5 мм	08.12 р.
5	Штангенциркуль ШЦ-I-200-0,02	0805174	Від 0 до 200 мм	± 0,02 мм	08.12 р.

**МЕТОДИКА ВИПРОБУВАНЬ:** Суть методики дослідження перевантаження мідних провідників полягає у визначенні температури, яка залежить від величини струму та часу його протікання у провіднику. Для досліджень використовувались мідні провідники з гумовою та полівінілхлоридною ізоляцією, площею поперечного перерізу 1,5 та 2,5 мм<sup>2</sup>, з однодротиковими та багатдротиковими жилами, які широко використовуються для виконання та монтажу внутрішніх електричних мереж. Під час експерименту у цих провідниках створювались режими перевантаження з поступовим підвищенням сили струму, понад допустиме значення та максимальним значенням за допомогою випробувального стенду. За допомогою термометрового ТХА визначалась температура на поверхні провідника та фіксувався час.



**РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ:** Результати випробувань наведено у табл. 2.

Таблиця № 2

Результати експериментальних досліджень

№ з/п	Тип провідника	Струм I, [A]	Час t, [с]	Температура T, [°C]	Характер збільшення струму
1.	Багатодротикова жила 2,5 мм <sup>2</sup>	42 A 50 A 100 A 130 A 170 A	30 с 120 с 270 с 360 с 480 с	20 °C 87 °C 280 °C 450 °C температура плавлення	При поступовому збільшенні струму
2.	Багатодротикова жила 2,5 мм <sup>2</sup>	42 A 300 A	11 с	температура розтоплення	При максимальному збільшенні струму
3.	Однодротикова жила 2,5 мм <sup>2</sup>	40 A 98 A 110 A 190 A	180 с 300 с 420 с 510 с	70 °C 340 °C 450 °C температура розтоплення	При поступовому збільшенні струму
4.	Однодротикова жила 2,5 мм <sup>2</sup>	40 A 300 A	10 с	23 °C температура розтоплення	При максимальному збільшенні струму.
5.	Багатодротикова жила 1,5 мм <sup>2</sup>	25 A 50 A 100 A 110 A	60 с 160 с 210 с 260 с	62 °C 275 °C 459 °C температура розтоплення	При поступовому збільшенні струму
6.	Багатодротикова жила 1,5 мм <sup>2</sup>	25 A 400 A	15 с	23 °C температура плавлення	При максимальному збільшенні струму.
7.	Однодротикова жила 1,5 мм <sup>2</sup>	25 A 52 A 100 A 120 A	180 с 240 с 300 с	24 °C 295 °C 598 °C температура плавлення	При поступовому збільшенні струму
8.	Однодротикова жила 1,5 мм <sup>2</sup>	25 A 300 A	15 с	23 °C температура плавлення	При максимальному збільшенні струму

**ВИСНОВОК:** По завершенню експерименту з мідних провідників відбирались зразки зі слідами оплавлень і виготовлялись шліфи для подальшого дослідження мікроструктури.

Викладач кафедри ЕППА ЛДУ БЖД  
ст. лейтенант сл. ц.з.

Провідний науковий співробітник  
НДВ ЛДУ БЖД МНС України



О.Б. Назаровець

В.Л. Петровський



**ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ  
НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ**

Свідоцтво про атестацію № РЛ 1645/10 від 27 вересня 2010 р.  
Ліцензія ДДПБ МНС України серія АГ № 506341 від 11.02.2011 р.

**ПРОТОКОЛ № 14/241013**

**ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ  
МІДНИХ ПРОВІДНИКІВ ПРИ РІЗНІЙ ТЕМПЕРАТУРІ У МУФЕЛЬНІ ПЕЧІ**

Львів - 2013



**ПРОТОКОЛ № 14/241013****ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ МІДНИХ  
ПРОВІДНИКІВ ПРИ РІЗНІЙ ТЕМПЕРАТУРИ У МУФЕЛЬНІ ПЕЧІ**

**Дата проведення  
випробувань:** 24.10.2013 р.

**Умови проведення випробувань:**

- температура 19 °С  
- атмосферний тиск 97,5 кПа  
- відносна вологість 66 %

**МІСЦЕ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ:** Електротехнічна лабораторія науково-дослідної лабораторії ЛДУ БЖД.

Адреса: м. Львів, вул. Клепарівська, 35.

**ОБ'ЄКТ ВИПРОБУВАНЬ:** Зразки мідних провідників з гумовою та полівінілхлоридною ізоляцією, площею поперечного перерізу 1,5 – 2,5 мм<sup>2</sup>.

**ЗРАЗКИ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ:** Випробуванням піддавалися зразки мідних провідників довжиною 30-50 мм у яких створювались режими короткого замикання. Для випробування використовувалось по 5 зразків для кожного струмового режиму.

**ОБЛАДНАННЯ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ**

Установка для проведення досліду складається з: муфельної печі "МП-2УМ" потужністю 2,6 кВт з температурними межами 19-1000°С, зварювального трансформатора: I=30-60 А, U=220/50 В; P=5кВА, яким створювались струмові режими. Для контролю температури використовували температурний перетворювач ХА «хромель-алюмель» з вторинним приладом і регулятором температури РТ-0102 на семісторі.

Таблиця 1.

## Засоби виміральної техніки

№ з/п	Найменування приладу чи обладнання	Заводський номер	Границя вимірювання	Клас точності або похибка засобів виміральної техніки	Дата наступної атестації, повірки
1	Регулятор-вимірювач РТ 0102-8-К	10.385 10.021	Від 0 до 1200 °С	± 2 °С	10.14 р.
2	Термопари ТХА 10	14 -16	Від 0 до 1200 °С		10.14 р.
3	Секундомір СОП	8625	Від 0 до 3600 с	2 кл	10.14 р.
4	Лінійка вимірвальна	б/н	Від 0 до 1000 мм	± 0,5 мм	10.14 р.
5	Штангенциркуль ШЦ-I-200-0,02	0805174	Від 0 до 200 мм	± 0,02 мм	10.14 р.

**МЕТОДИКА ВИПРОБУВАНЬ:** Суть експериментального дослідження полягає у визначенні впливу температури провідника при якій відбулось коротке замикання на його мікроструктуру. Під час проведення експериментальних досліджень провідник під напругою поміщається у муфельну піч, яка попередньо нагріта до відповідної температури, витримується впродовж 15 хв і закорочується. Виконання експериментів проводилось за наступною послідовністю табл. 2

Таблиця 2

## Експериментальні дані

№ з/п	Температура в печі T, °С	Час перебування провідника в печі до КЗ, т хв	Час перебування провідника в печі після КЗ т, хв
1.	19	15	-
2.	250	15	-
3.	250	15	20
4.	300	15	-
5.	300	15	20
6.	400	15	-
7.	400	15	20
8.	600	15	-
9.	600	15	20
10.	800	15	-
11.	800	15	20
12.	950	15	-
13.	950	15	20
14.	400	15	Помістили у воду t=10 °С
15.	600	15	Помістили у воду t=10 °С
16.	800	15	Помістили у воду t=10 °С

**ВИСНОВОК:** Після проведення експерименту вилучались ділянки провідників з оплавленнями розміром 50-100 мм, з яких в подальшому виготовлялись шліфи для дослідження мікроструктури.

Викладач кафедри ЕППА ЛДУ БЖД  
капітан сл. ц.з.

Начальник  
НДЛ ЛДУ БЖД



О.Б. Назаровець

В.Л. Петровський



**ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ  
НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ**

Свідоцтво про атестацію № РЛ 1645/10 від 27 вересня 2010 р.  
Ліцензія ДДПБ МНС України серія АГ № 506341 від 11.02.2011 р.

**ПРОТОКОЛ № 15/301013**

**ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ  
МІДНИХ ПРОВІДНИКІВ ПРИ ДІЇ НА НИХ ВІДКРИТОГО ПОЛУМ'Я**

Львів - 2013

## ПРОТОКОЛ № 15/301013

### ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ МІДНИХ ПРОВІДНИКІВ ПРИ ДІЇ НА НИХ ВІДКРИТОГО ПОЛУМ'Я

**Дата проведення випробувань:** 30.10.2013 р.

**Умови проведення випробувань:**

- температура 20 °С
- атмосферний тиск 97,2 кПа
- відносна вологість 67 %

**МІСЦЕ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ:** Теплотехнічна лабораторія науково-дослідної лабораторії ЛДУ БЖД.

Адреса: м. Львів, вул. Клепарівська, 35.

**ОБ'ЄКТ ВИПРОБУВАНЬ:** Зразки мідних провідників з гумовою та полівінілхлоридною ізоляцією, площею поперечного перерізу 1,5 – 2,5 мм<sup>2</sup>.

**ЗРАЗКИ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ:** Випробуванням піддавалися зразки мідних провідників довжиною 1300-1500 мм у яких створювались режими короткого замикання. Для випробування використовувалось 5 зразків.

#### ОБЛАДНАННЯ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Для проведення експериментального дослідження використовували зварювального трансформатора: I=30-60 А, U=220/50 В; P=5 кВА, яким створювались струмові режими.

Таблиця 1

**Засоби вимірювальної техніки**

№ з/п	Найменування приладу чи обладнання	Заводський номер	Границя вимірювання	Клас точності або похибка засобів вимірювальної техніки	Дата наступної атестації, повірки
1	Регулятор-вимірювач РТ 0102-8-К	10.385 10.021	Від 0 до 1200 °С	± 2 °С	10.14 р.
2	Термопари ТХА 10	14 -16	Від 0 до 1200 °С		10.14 р.
3	Секундомір СОП	8625	Від 0 до 3600 с	2 кл	10.14 р.
4	Лінійка вимірювальна	б/н	Від 0 до 1000 мм	± 0,5 мм	10.14 р.
5	Штангенциркуль ШЦ-I-200-0,02	0805174	Від 0 до 200 мм	± 0,02 мм	10.14 р.

**МЕТОДИКА ВИПРОБУВАНЬ:** Для проведення експериментів створювалось модельне вогнище класу А, над полум'ям якого відкрито прокладались мідні провідники  $1,5-2,5 \text{ мм}^2$  з гумовою ізоляцією, навантаженні за допомогою зварювального трансформатора. Коротке замикання виникало у момент пошкодження полум'ям ізоляції. Після короткого замикання провідники вилучались і з них відбирались зразки з оплавленнями для виготовлення шліфів.

**ВИСНОВОК:** По закінченні експерименту ділянка провідника із оплавлення розміром 7-12 мм розміщували в металевій оправці і виготовляли шліф, який обробляли для дослідження мікроструктури.

Викладач кафедри ЕППА ЛДУ БЖД  
капітан сл. ц.з.

Начальник  
НДІ ЛДУ БЖД



*[Signature]*  
О.Б. Назаровець

*[Signature]*  
В.Л. Петровський

## Додаток Б

В додаток внесені акти впровадження результатів дисертаційного дослідження

**Затверджую**

Начальник НДЕКЦ  
при ГУМВС України  
у Львівській області  
полковник міліції

**Р.Я. Заяць**

3 червня 2015



**АКТ**

впровадження результатів дисертаційного дослідження ад'юнкта ЛДУ БЖД  
Назаровця Олега Богдановича

Комісія у складі:

заступника начальника НДЕКЦ при ГУМВС України у Львівській області полковника міліції Роговика М.П., начальника ВВПЕ НДЕКЦ при ГУМВС України у Львівській області підполковника міліції Штангрета А.Б., експерта відділу ВПЕ Шунькіна В.М. склала цей акт про те, що результати дисертаційної роботи Назаровця О.Б. впроваджуються в практичну діяльність науково-дослідного експертно-криміналістичного центру при ГУМВС України у Львівській області під час встановлення причетності внутрішніх електричних мереж до виникнення пожеж.

Особливе значення для практичної діяльності мають металографічні ознаки структури мідних провідників нагрітих струмами коротких замикань в умовах різних температурних режимів.

Цей акт не може бути підставою для отримання премій та інших винагород.

Голова комісії:

**Заступник начальника НДЕКЦ**  
полковник міліції

**М.П. Роговик**

Члени комісії:

**начальник ВВПЕ НДЕКЦ**  
підполковник міліції

**А.Б. Штангрет**

**експерт відділу ВПЕ**

**В.М. Шунькін**



Затверджую

Начальник АРЗ СП У ДСНС України  
у Тернопільській області

полковник служби цивільного захисту

О.В. Рапацький

«23» 04 2015 р.

## АКТ

впровадження результатів дисертаційного дослідження ад'юнкта ЛДУ БЖД  
Назаровця Олега Богдановича

Комісія у складі: голови начальника ДВЛ АРЗ СП У ДСНС України у  
Тернопільській області капітана служби цивільного захисту Пасемника А.О.,  
та членів: провідного фахівця ДВЛ АРЗ СП Управління майора служби  
цивільного захисту Кархута Н.З., фахівця ДВЛ АРЗ СП Управління майора  
служби цивільного захисту Лотиша І.І.

склала цей акт про використання результатів дисертаційної роботи  
Назаровця О.Б. у практичній діяльності дослідно-випробувальної лабораторії  
АРЗ СП У ДСНС України у Тернопільській області при проведенні пожежно-  
технічних експертиз встановлення причин виникнення пожеж в житлових та  
громадських будівлях від електроустановок.

Особливе значення для практичної діяльності мають зміни структури  
мідних провідників електричних мереж в умовах комплексної дії струму та  
високої температури.

Голова комісії:

начальник ДВЛ АРЗ СП У ДСНС України  
у Тернопільській області  
капітан служби цивільного захисту



А.О. Пасемник


Члени комісії:

провідний фахівець ДВЛ АРЗ СП Управління  
майор служби цивільного захисту



Н.З. Кархут

фахівець ДВЛ АРЗ СП Управління  
майор служби цивільного захисту



І.І. Лотиш

Затверджую  
 Начальник ЗТС ГУ ДСНС України  
 у Львівській області  
 підполковник служби  
 цивільного захисту



О.В. Іванець  
 2015 р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційного дослідження ад'юнкта ЛДУ БЖД  
 Назаровця Олега Богдановича

Комісія у складі:

начальника ДВЛ ЗТС ГУ ДСНС України у Львівській області майора служби цивільного захисту Добровольського М.В., старшого інженера відділення технічних випробувань ЗТС ГУ ДСНС України у Львівській області старшого лейтенанта служби цивільного захисту Галушки О.В., завідувача науково-дослідної лабораторії ЛДУ БЖД Петровського В.Л.

склала цей акт про те, що результати дисертаційної роботи Назаровця О.Б. впроваджуються для практичної діяльності під час огляду та дослідження пожежі при встановленні причетності внутрішніх електричних мереж до виникнення пожежі.

Особливу практичну цінність мають металографічні ознаки коротких замикань мідних провідників внутрішніх електромереж в умовах комплексної дії струму та високої температури.

Цей акт не може бути підставою для отримання премій та інших винагород.

Голова комісії:

Начальник ДВЛ ЗТС ГУ ДСНС України  
 у Львівській області  
 майор сл. ц. з.

М.В. Добровольський

Члени комісії:

Старший інженер відділення  
 технічних випробувань ЗТС  
 ГУ ДСНС України у Львівській області  
 ст. лейтенант сл. ц. з.

О.В. Галушка

Завідувач НДЛ ЛДУ БЖД

В.Л. Петровський



## ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор Львівського  
державного університету безпеки  
життєдіяльності ДСНС України  
кандидат педагогічних наук, доцент



М.С. Коваль

« 30 » 1340 2015 року

## АКТ

про використання в навчальному процесі результатів дисертаційної роботи  
ад'юнкта Назаровця Олега Богдановича

## Комісія у складі:

голови – начальника кафедри електротехніки, промислової та пожежної  
автоматики, к.т.н., доцента Кравця І.П.;

членів комісії: начальника навчально-методичного центру Стася Р.І.;  
доцента кафедри електротехніки, промислової та пожежної автоматики, к.т.н.,  
доцента Кушніра А.П.;

склала цей акт про те, що результати дисертаційної роботи  
Назаровця О.Б. впроваджено в навчальний процес підготовки бакалаврів за  
напрямом 6.170201 «Цивільний захист» з дисципліни «Електротехніка та  
запобігання аварій в електроустановках» та за напрямом 6.170203 «Пожежна  
безпека» з дисципліни «Електротехніка та пожежна профілактика  
електроустановок», а саме результати теоретичних та експериментальних  
досліджень причетності аварійних режимів в електричних мережах до  
виникнення пожеж.

Голова комісії:  
Начальник кафедри ЕППА  
к.т.н., доцент

І.П. Кравець

Члени комісії:  
Начальник НМЦ

Р.І. Стасьо

Доцент кафедри ЕППА  
к.т.н., доцент

А.П. Кушнір