АНАЛИЗИРАНЕ НА РЕНТГЕНОГРАМИ, ИЗВЛИЧАЩИ ИНФОРМАЦИЯ ЗА КЪСИ СЪЕДИНЕНИЯ ПО ОТКРИТИ ПРОВОДНИЦИ С МЕДНИ ЖИЛА, ОХАРАКТЕРИЗИРАЩИ ПРОЦЕСИ, СВЪРЗАНИ С ВЪЗНИКВАНЕТО НА ПОЖАРИ В ОБЕКТИ

инж. Марко Марков, ГДПБЗН, mmarkov1967@abv.bg
доц. д-р Васил Цанов, Академия на МВР, vasil.tsanoff@tsanoff-classic.com

РЕЗЮМЕ: *Целта на настоящата статия е анализиране на рентгенограми, извличащи информация за къси съединения по открити проводници с медни жила, охарактеризиращи процеси, свързани с възникването на пожари в обекти. Изследват се 97 кабелни образци, иззети при провеждане на електротехническа и/или пожаротехническа експертиза. Разглеждат се подробно цялата методология на провеждане на експеримента и насоки за емпирично повторение на анализите посредством дидактична проверка. Анализът приключва с една обобщена статистика на крайните резултати.*

Ключови думи: *късо съединение, меден проводник, пожар, електротехническа експертиза, пожаротехническа експертиза, рентгеноструктурен анализ.*

ANALYSIS OF RADIOGRAPHS EXTRACTING INFORMATION ON SHORT CIRCUITS IN EXPOSED COPPER CONDUCTORS CHARACTERIZING PROCESSES RELATED TO FIRE OUTBREAKS IN FACILITIES

eng. Marko Markov, GDFSCP, mmarkov1967@abv.bg
Associate Professor Vasil Tsanov, PhD, Academy of MoI, vasil.tsanoff@tsanoff-classic.com

ABSTRACT: *The aim of this article is to analyze radiographs that extract information on short circuits in exposed copper conductors, characterizing processes associated with the outbreak of fires in built environments. A total of 97 cable specimens are examined, collected during the course of electrical and/or fire-technical forensic investigations. The entire experimental methodology is described in detail, along with guidelines for empirical replication of the analyses through didactic verification. The study concludes with a consolidated statistical summary of the final results.*

Keywords: *short circuit, copper wire, fire, electrical expertise, fire expertise, X-ray structural analysis*

Въведение

1.1.Мотиви за предприемане на изследването

Годишно [1] между 20% и 25% от пожарите възникват в резултат на неизправности в електрическите инсталации. За да избухне такъв пожар, е необходимо да са налице горим материал, окислител и източник на запалване, т.нар. „триъгълник на горенето“.

Горимият материал може да бъде извън инсталацията или в самата нея /например в изолацията ѝ/. Околната среда е тази, която подхранва горенето, предизвикано от електрическия ток.

Основните причини за пожари, причинени от неизправности в електрическите инсталации, са следните три аварийни режима:

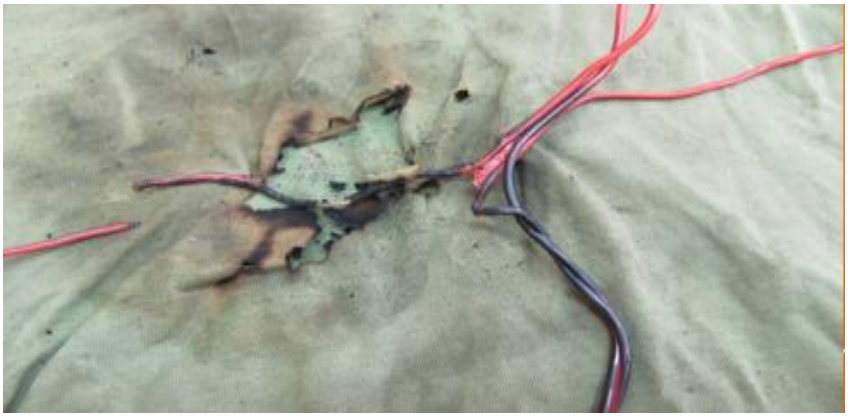
- високо преходно съпротивление (лош контакт);
- претоварване;
- късо съединение.

Неделима част и от трите физични състояния е преходното съпротивление. То възниква при контактуване на две тела в местата на преминаване на тока – от единия контакт към другия, през площта на тяхното допиране. Топлината, която се отделя при ефекта, е пропорционална на квадрата на тока в точките на допиране (закон на Джаул-Ленц) (фигура 1).



Фиг. 1. *Възникване на авариен режим вследствие на преходно съпротивление /личен архив/*

Претоварването е авариен режим, при който протича ток в проводниците на електрическите инсталации, машини и апарати продължително време и над допустимите, заложени от производителя, стойности. В резултат на това проводниците се нагряват до високи температури, което води до повишаване на температурата, последвано от разтапяне и възпламеняване на изолацията *(фигура 2)*.



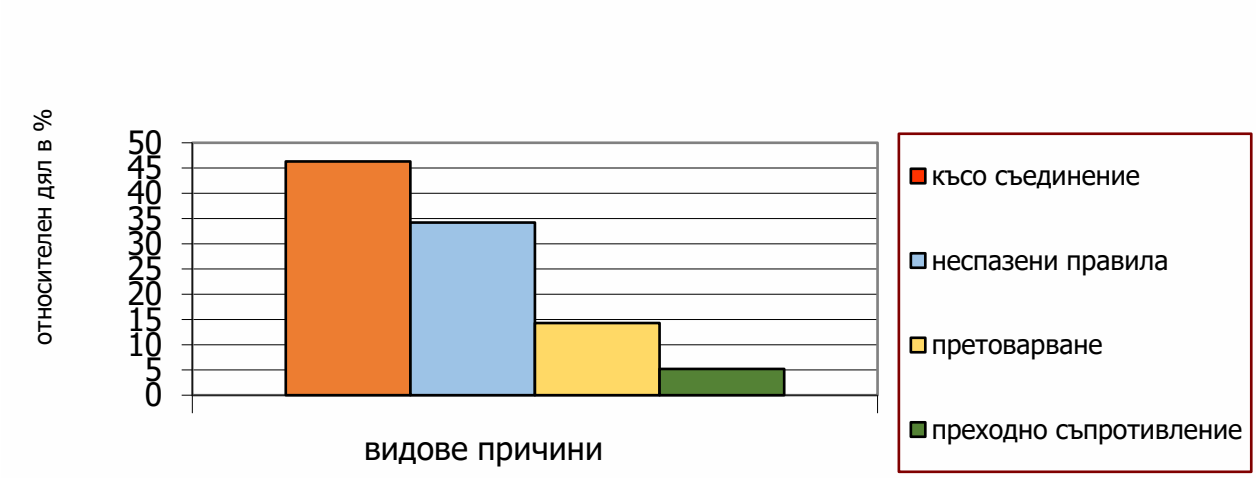
Фиг. 2. *Възникване на горене вследствие на претоварване на електрическа верига /личен архив/*

Късите съединения в електрическа верига [2] възникват, когато се съединят две нейни топологични точки с различен електричен потенциал и между тях се затвори верига, и протече ток с малък и/или никакъв импеданс [3] (пълно съпротивление), като това не е предвидено в техническото изпълнение на мрежата. Притежавайки мощен топлинен импулс, късото съединение е способно в редица случаи да възпламени изолацията на тоководещите части от електрическата верига и намиращите се в близост до нея горими материали *(фигура 3).*



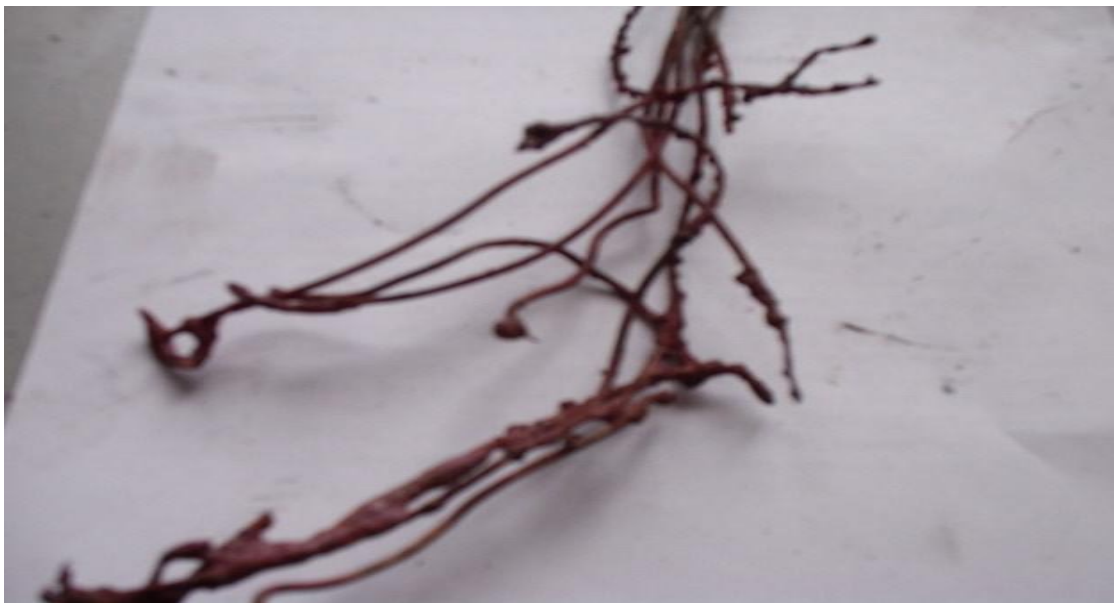
Фиг. 3*. Окъсен електрически проводник /личен архив/*

Относителният дял на пожарите, възникнали от късо съединение, претоварване, преходно съпротивление и неспазване на изискванията за пожарна безопасност, спрямо общия брой пожари от електрически произход, е представен на фигура 4.



Фиг. 4: Разпределение на пожарите от електрически произход

Разтопяванията, вследствие на температурата на пожара, са разпределени на значителна дължина по проводника и нямат ясно изразени граници (фигура 5).



Фиг. 5: *Разтопявания на електрически проводници вследствие на температурата на пожара*

Обаче разтопяванията вследствие на възникнало късо съединение са локални, с ясно изразени граници. Формата им може да бъде сферична, овална или капкообразна (фигура 6).



Фиг. 6: *Разтопявания на електрически проводници вследствие на късо съединение*

1.2.Степен на разработеност на проблема

При извършване на електротехническата експертиза най-често пред експертите се поставя въпросът "*Има ли късо съединение в ел. инсталация и може ли то да бъде причина за възникналия пожар?*", тъй като късо съединение може да възникне и вследствие топлинното действие на пожара. Поради тази причина, в зависимост от момента на възникване, късите съединения биват два вида:

- „първично" – възникнало преди пожара (***табл. 1*** и ***табл. 2***);
- „вторично" – възникнало след пожара (***табл. 3*** и ***табл. 4***);

Табл. 1: ***Първични къси съединения без товар***

защита	**сечение:**			
	0,5 mm²	**0,75 mm²**	**1,5 mm²**	**2,5 mm²**
25 A				
63 A				

Табл. 2: ***Първични къси съединения с товар***

защита	**сечение:**			
	0,5 mm²	**0,75 mm²**	**1,5 mm²**	**2,5 mm²**
25 A			товарът не оказва влияние на резултатите от тези без товар	
63 A				

Табл. 3: ***Вторични къси съединения без товар***

защита	**сечение:**			
	0,5 mm²	**0,75 mm²**	**1,5 mm²**	**2,5 mm²**
25 A				
63 A				

Табл. 4: ***Вторични къси съединения с товар***

защита	**сечение:**			
	0,5 mm²	**0,75 mm²**	**1,5 mm²**	**2,5 mm²**
25 A			товарът не оказва влияние на резултатите от тези без товар	
63 A				

В сектор „Експертизи и техническа информация“ на отдел „Център за изследвания и експертизи“ към ГДПБЗН-МВР се използва рентгеноструктурният анализ. Той се извършва по утвърдени методически указания (методика), създадени през 1980 г. съвместно със специалисти от БАН и от Института по пожарна безопасност в гр. Москва, Руска федерация.

Методиката е предназначена за определяне на вида на късото съединение, възникнало само по открито положени проводници с медни жила, независимо от тяхното сечение и количеството жички в жилото.

Методът се основава на сравняване на изменението на структурата на медта и образуването на медни окиси в мястото на късото съединение и на определено разстояние извън него по дължината на проводника.

За всяко разтопяване вследствие на възникнало късо съединение се изследват два броя образци:

- един от мястото на разтопяване /обр.1/;
- един от място, отдалечено на разстояние от 50 до 100 mm от обр. 1.

На всеки образец се извършват два рентгеноструктурни анализа. При първия образецът е неподвижен в камерата, а при втория се върти.

След извършване на рентгеноструктурните анализи получените рентгенограми се промиват и сушат. Същите се разчитат с помощта на еталонна рентгенограма, за да се определи видът на късото съединение.

Определянето на вида на късото съединение се извършва чрез сравняване на рентгенограмите, снети от образец 1 и образец 2, помежду им.

„Първично“ късо съединение се дефинира, когато:

дифракционните петна на Cu на рентгенограмата от образец 1 имат по-малки размери, отколкото тези на образец 2 /при неподвижни образци/;

интензивността на линиите на Cu2O и CuO на рентгенограмата от образец 1 е по-голяма от тази на образец 2 /при въртене на образците/.

Късото съединение е „вторично“, когато:

дифракционните петна на Cu на рентгенограмата от образец 1 имат по-големи размери, отколкото тези на образец 2 /при неподвижни образци/;

интензивността на линиите на Cu2O и CuO на рентгенограмата от образец 1 е по-малка от тази на образец 2 /при въртене на образците/;

интензивността на линиите на Cu от рентгенограмата на образец 1 е по-голяма от тази на образец 2.

1.3. Обект на изследването

Обект на изследването са електрически медни проводници, иззети при пожаротехническа експертиза. От компрометираните участъци се подготвят проби (по установена и стандартизирана методология) във вид на образци.

1.4.Предмет на изследването

Образците се облъчват с рентгенови лъчи (при заложени в методологията условия – изходно напрежение, сила на тока, време и т.н.). Получената дифракционна картина се заснема с камера на Дебай-Шерер. Фотографските плаки се проявяват до рентгенови снимки. Снимковите образци се разчитат по стандарт, охарактеризиращ дали източникът на пожара е късото съединение, или то няма нищо общо с пожара. Рентгенограмите се цифровизират (посредством офис скенер с променени характеристики), а получените снимки се подлагат на цифрова обработка с комерсиален софтуер (по изчислени от автора филтри). Така се получава изображение с ясно изразени дифракционни пръстени.

1.5. Възприети ограничения

Праховата рентгенова дифракция е изключително продуктивна при идентификацията на кристални фази и определянето на т.нар. групи на кубични вещества. Но тя има своите ограничения при кристални аномалии от типа метал – метален оксид и структури, получени при миграция на атоми в кристални решетки и/или атоми, преминали в по-близки до молекулните енергийни състояния, в т.ч. и атоми, екранирани от големи обекти. На този етап праховата рентгенова дифракция не може да се прилага в изследвания тип експертиза.

Фундаментални изследвания: закони, принципи, ефекти, постулати, теореми, леми представени в реферирани издания;

Активни база данни: реферирани база данни с научна информация, съдържащи емпирични стойности, валидирани коефициенти, статистика и сходни;

Рентгенови апарати (***фигура 7***)***:***

УРС-2.0		
Philips PW 1730		

Фиг. 7: ***Рентгенови апарати и камери на Дебай-Шерер***

1. Теоретична основа на изследването

1.1. Данни получени от рентгеноструктурен анализ

1.1.1. Същност на рентгеноструктурения анализ

За най-общо дефиниране на понятието рентгеноструктурен анализ се налага да се въведат понятия, пряко свързани с основните принципи на дифракционния анализ

на кристалната атомна структура и с основните концепции на най-съвременната атомна кристалография. Нужно е да се разгледат особеностите на точковите и пространствените групи, методите за характеризиране на симетрията и физиката на взаимодействието рентгеновите лъчи с вещество като цяло. За по-пълна картина се подлагат на анализ и основните експериментални проблеми на дифракционното изследване на атомната кристална структура, реалната структура и структурните процеси при фазово преобразуване.

1.1.2. Специални положения и синтезиране на информацията

Всички метали, техните оксиди и сплави притежават кристален строеж. Когато металният образец се състои от малки кристалчета (кристалити, зърна и др.) се нарича поликристал. Задачата която е поставена, чрез рентгеноструктурен анализ да се определи фазовия състав на поликристалитните вещества именно по техните междуплоскостни разстояния.

Дължината на рентгеновите вълни е близка до междуатомните разстояния в кристалите (0,05÷0,30 mm), следователно кристалите представляват дифракционна решетка на рентгеновите лъчи. Този ефект мож да се изследва, посредством заснемане на получената дифракционната картина. Максимумите на интензивността на дифрактиралото лъчение се подчиняват на уравнението на *Вулф-Берг* (*урав.1*):

$$n.\lambda = 2d_i.sin\theta \qquad (1)$$

Където:

λ - дължината на вълната на рентгеновото лъчение;

θ - ъгълъла на дифрактиралото рентгеново лъчение (*ъгъл на Вулф-Берг*);

d_i - междуплоскостното разстояние – разстоянието между паралелни и еднакво отдалечените една от друга атомни плоскости.

Всяка фаза притежава своя кристална решетка. Набор от атомни плоскости, които образуват решетка на дадена фаза, притежават уникален набор от стойности на междуплоскостните разстояния. Следователно стойностите на междуплоскостните разстояния на изследвания обект и интензивностите на съответните отражения позволяват да бъде охарактеризирана кристалната решетка и да се изведе точен качествен състав (по фазите) на анализирана проба. Актуални данни за дифракционни измервания се валидират и публикуват от ICDD [4].

Механизъм за взаимодействие на медта с кислорода и получаване на отчетлива фазова картина

Простото вещество мед се характеризира с изявено сходство към кислорода, което обуславя и образуването на повърхностен окисен слой по токопроводните жила на проводниците, дори и при нормални условия. Концентрацията на медните оксиди е правопропорционална на температурата на нагряване, като скоростта на превръщане на Cu в CuO е значителна след 250°C. Важно е да се отбележи, че процесът представлява двустранна дифузия на атомите кислород навътре към структурната единица и на атомите на медта навън към същата.

Първоначално на повърхността на медта се образува слой от окисна кора, който впоследствие става „външен подслой на вътрешния слой“; на неговата вътрешна повърхност се запазват всички неравности на образеца. Атомите на медта от по-вътрешния слой дифундират навън и на външната повърхност, съединявайки се с кислорода от въздуха, образувайки „външен“ слой на окисна кора, под който остава скрит първоначално образувалият се слой. Този външен слой после се увеличава по дебелина; атомите, от които той се състои се сменят от време на време, тъй като атомите на медта, чрез дифузия постоянно се изнасят на повърхността и удебеляват външния слой.

Същевременно най-вътрешният слой, от който се отделя атомите на медта поради това, става порест и контактът между окисната кора и медта се осъществява с помощта на отделни дифузни „мостчета“. Именно по тези топографски структури атомите на медта продължават да дифундират към външния слой на окисната кора, а в противоток на тях дифундират атомите на кислорода, които в крайна сметка се съединяват с металната мед на вътрешната граница на окисната кора, образувайки CuO. Отделни молекули кислород същевременно се адсорбират през кристалната решетка на медта, образувайки твърд разтвор. Скоростта на двустранната дифузия е правопропорционална на температурата на окислителната среда. Описаният процес е валиден само ако температурата на проводника е равна на температурата на околната среда. В случаите когато има потенциална температурна разлика между среда и вещество (както се получава при протичане на електричен ток през проводника), то подвижността на атомите на медта се увеличава, а изменението на изменението на направлението на топлинния поток и появяването на температурен градиент води до изменение на ориентационните съотношения, между кристалните решетки на метала и окисните фази, което ясно се откроява върху рентгенограмите.

1.1.3. Физическа същност на дифракционните петна на рентгенограми

Възникването на отделни отражения (петна) на рентгенограмите на медни проводници, които са били подложени на въздействието на високите температури при пожар, може да се обясни с процесите на рекристализация, водещи до образуването на нови „зърна“. Рентгенографски, кристализацията се проявява при размер на новите зърна от порядъка на 0,01mm [5]. Такива зърна дават на рентгенограмите отделни дифракционни петна, броят и контраста на които расте с повишаване на температурата на отгряване (екраниране). Едновременно отслабва интензивността на текстурата от деформацията в медните проводници, което на рентгенограмите се изразява в прекъснатост на линиите и/или в сгъстяване на петната (отражението) по линията медната фаза. Когато текстурите максимуми (сгъстяванията) изчезнат, броят на дифракционните петна става по-голям. Този момент илюстрира затихване на процеса на рекристализация. При по-нататъшното повишаване на температурата на пожара започва процесна събирателна рекристализация, довеждаща до нарастване на отделните зърна за сметка на останалите. Успоредно с това на рентгенограмите размерите на отделните петна се увеличават, а общият им брой намалява. Не е изключено и текстурата на деформация

да не изчезва напълно след кристализация, а да възникват нови „текстури на рекристализация“, поради което петната на рентгенограмите могат да се запазят при въздействието на високите температури на пожара. Следователно високата температура на горене не „унищожава“ информацията на късото съединение в проводника.

2. Линеарна обработка на изображения. Хистограми

Цифровото изображение е визуално представяне на числен масив, който измерва физическо явление. Тази уводна глава започва с описание на принципите на получаване на цифрови изображения, последвано от подробно определение за цифрови изображения и завършва с някои основни инструменти за визуализация и анализ.

a. Хистограми

Хистограмата на цифрово изображение изобразява как са разпределени интензитетите на неговите пиксели или казано по друг начин представлява броя на пикселите с определен интензитет за всички интензитети в изображението.

b. Хистограмни трансформации

Трансформацията на хистограма се състои в прилагане на математическа функция към разпределението на интензитета. Обикновено трансформациите са полезни за подобряване на визуалното качество на изображението, но рядко са необходими при автоматична обработка.

3. Методология

На анализ са подложени 97 кабелни медни образци (в т.ч. и пробна със стоманено жило).

3.1. Емпирична методологична програма за анализиране на образи от медни проводници по утвърдена методика

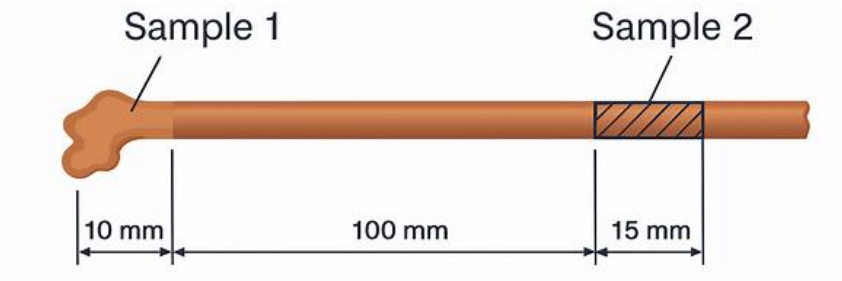
Емпиричната методология [5÷7] е предназначена за определяне отношението на късите съединения към възникване на пожари при открито положени проводници с медни жила, независимо от тяхното сечение и количество жички в жилото, които са подложени на въздействието на пожара до температура не по-висока от 900°C.

Методиката не се отнася за кабели и проводници, които са положени в тръби.

3.1.1. Изисквания към проводниците

1) Изследват се единствено открито положени електрически кабели;

2) Пробата се взима от място, отдалечено на разстояние 50÷100mm от първия образец с дължина 15 мм (***фигура 8***):



*Фиг. 8**: Схема за изземване на образци от разтопен меден проводник***

3) образците със сечение по-голямо от 1,5mm^2 се подлагат на механична обработка (напр. изпилване с пила); при това местата подлежащи на изследване не се обработват, с цел да се запази повърхностния окисен слой.

При многожилни медни проводници с общо сечение по-голямо от 1,5 mm^2 се изследват отделните жички, които трябва да се отделят от общото жило заедно с част от разтопяването.

Преди провеждане на рентгеновото заснимане, образците се измиват в спирт, чрез потапяне и изплакване;

3.1.2. Апаратура и условия за получаване на рентгенограми

1) за провеждане на рентгеноструктурните изследвания се използва рентгенова установка [8] с фотографска регистрация, чрез камера на Дебай-Шерер;

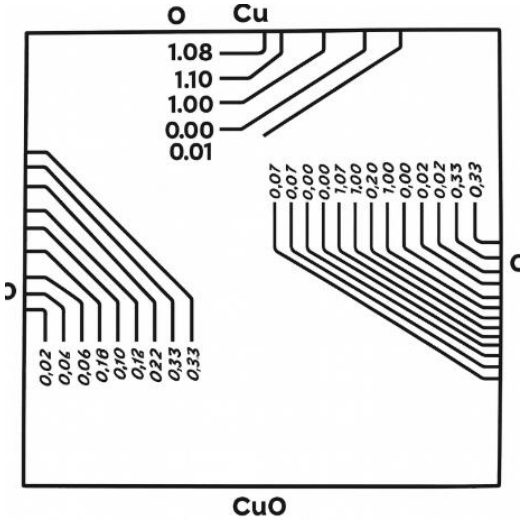
2) използва се асиметричния метод на заснемане без въртене на образеца (за оценка на зърнистостта) и с въртене (за оценка на интензивността). Режимът на работа на апаратурата (сила на тока и напрежение на рентгеновата тръба) се определя от експериментатора;

3) заснимането на рентгенограмите за двата образеца от даден проводник се извършва в една и съща камера и при еднакви условия.

Проявяването на рентгенограмите, снети от двата образеца се извършва едновременно.

3.1.2.1. Разшифроване на рентгенограмите

1) РАЗШИФРОВАНЕТО се извършва по еталон, т.н. „ключ еталон“ (***фигура 9***). Това се улеснява от това, че фазовият състав на изследваните образци в основни линии е известен (за проводници се използва електролитна мед точна чистота и примеси).



Фиг. 1: ***„Ключ–еталон“ за определяне фазовия състав***

2) Интензивността на линиите на рентгенограмите се определя визуално по десетобалната скала и/или с микрофотометър.

Ако линията по дължината е с различна интензивност (което е свързано с еднозърнисостта на дадена фаза или с лоша юстировка на образеца), то в разчитането се използва интензивността на най-ярката част от линията;

3.1.2.2. Признаци за първичност или вторичност на късото съединение

1) Признаци за първичност на късото съединение:

1) дифракционните петна, съставящи линиите на Cu на рентгенограмата от *образец 1* имат по-малко размери отколкото на рентгенограма от *образец 2* (при снимане без въртене);

2) по-голямата интензивност на линиите на Cu_2O на рентгенограмата от *образец 1* в сравнение с рентгенограмата от *образец 2*.

ВАЖНО: чрез микрофотометър се определят количествените показатели на интегралната интензивност на указаната фаза;

3) по-голяма интензивност на линиите на CuO (ако тази фаза присъства) рентгенограмата от *образец 1* в сравнение с рентгенограмата от *образец 2*.

ВАЖНО: признакът, свързан с установяване на фазата на CuO може да отсъства поради нарушаване на повърхностния слой на образеца.

2) Признаци за вторичност [9] на късото съединение:

1) на рентгенограмата от *образец 1* линиите на Cu имат по-голяма интензивност, отколкото на рентгенограмата от *образец 2*;

2) дифракционните петна, съставящи линиите на Cu на рентгенограмата от *образец 1* имат по-големи размери, отколкото на рентгенограмите от *образец 2* (при заснемане без въртене);

3) по-малка интензивност на линиите на фаза Cu_2O на рентгенограмата от *образец 2* имат по-големи размери, отколкото на рентгенограмата от *образец 1*, в сравнение с рентгенограмата от *образец 2* (сходно на предходното);

4) по-малка интензивност на линиите на CuO (ако фазата присъства) на рентгенограмата от *образец 1* в сравнение с рентгенограмата от *образец 2*.

Вследствие на температурната на пожара, дифракциоата решетна на анализиния проводник, показва идентични рентгенограми на двата образеца, няма как да се отдефиренцират първичност/вторичност на късото съединение.

Последователност на операциите при извършване на рентгеноструктурен анализ:

1) визуален анализ;
2) обработка на опитните образци;
3) юстиране на образците в камера и зареждането ѝ с рентгенов филм;
4) извършване на анализа с рентгенов апарат;
5) промиване и разчитане на рентгенограмите;
6) определяне вида на късото съединение.

Експериментът обхваща 97 броя проби (всяка с 4 броя образци). Една от групите е с немеден проводник, за проверка на показателите.

Операторът настройва рентгеновия апарат по следната техническа спецификация:

- РСА с камера Дебай-Шерер;
- лъчение – йонизиращо;
- филтър – Cu;
- условия на заснемане – 40kV, 20mA;
- експозиция – 30min;
- филм – Agfa-Gevaert.

Рентгеновите планшети да се проявят в тъмна стая, съгласно изискванията на производителя на филма.

3.2. Хистограмни трансформации на рентгенограми

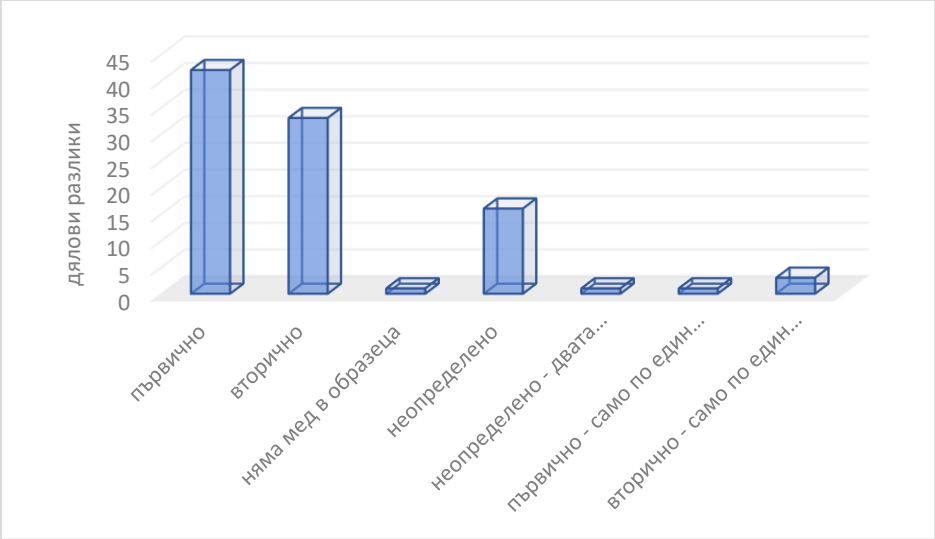
Линеарната обработка на входните изображения са хистограмни алгоритми. Приложената с методологична програма, набор от алгоритми и скриптови софтуерни решения на д-р Винсент Мазе [10] професор в Университет Страсбург. Топографското анализиране на получените графични образци [11] са извършени в среда на ImageJ [12]. Резултатите са представени в обощени таблици съдържаща точната последователност на експеримента. Всяка една от тях е независима и се приема за завършена.

4. Резултати

Резултатите на експеримента проведен съгласно методологията са представени в общо достъптна база данни:

Yordanov, Y., Markov, M., & Tsanov, V. (2025). X-ray graphs extracting information about short connections on openly layed conductors with copper conductors, characterizing processes related to the occasion of fires in facilities (1.0) [Data set]. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.15294692

Систематизиране на крайните резултати по отношение на вида къси съединения в изследваните проби (***фигура 10***), са по показателите – първиччни и вторични къси съединения; стоманена тел; неопределени по два критерия; неопределени; първични и вторични по един признак.



Фиг. 10 ***Относителен дял на вида къси съединения от изследваните проби***

Видно от графиката най-голям е дяла на първичните къси съединения, следван от вторичните. Важно е да се отбележи, че при около едно от седем изследвания късото съединение е с неопределен характер, т.е. наблюдават се едновременно признаци за първично и такива за вторично късо съединение. В незначителен процент от изследванията се установява първично или вторично късо съединение само по един признак.

ИЗВОДИ

1. Установена е приложимостта на емпирично базиран метод за диференциална оценка на електрически увреждания като допълващ инструмент при електротехническата компонента на пожаро-техническите експертизи. Методът позволява систематизирано съпоставяне на морфологичните и структурните признаци в зоната на разтопяване и в референтен участък на медния проводник и създава експериментална основа за разграничаване на първични и вторични къси съединения;

2. Експерименталните резултати потвърждават, че рентгенографското изследване, основано на кристална дифракция, осигурява възпроизводима регистрация на структурните изменения в медта и образуваните оксидни фази. При стандартизирани условия на пробоподготовка, експозиция и регистрация методът позволява сравнителна оценка на дифракционните характеристики на изследваните образци. Практическата му приложимост се подкрепя и от натрупания експертен опит при използването му в съдебни и пожаро-технически експертизи;

3. Установено е, че цифровата хистограмна трансформация на рентгенографските изображения не представлява единствено средство за визуално подобряване на контраста, а операция за преобразуване на латентни интензитетни различия в количествено различими признаци. Получените локални максимуми, относителни интензитети и характеристики на дифракционните области формират допълнително признаково пространство, което може да бъде използвано като вход при последващ машинен и дълбок структурен анализ.

АВТОРСКИ БЕЛЕЖКИ

Всички тествани проби са напълно свободни от правни тежести и не подлежат на каквито и да било юридически задължения. Подреждането на числовите идентификатори е извършено произволно и не може да бъде свързано с конкретна пожаротехническа експертиза или съдебно производство. Манипулирането и интерпретацията на резултатите са извършени в пълно съответствие със законодателството на Република България и Европейския съюз.

Цялата методология, концептуална рамка и аналитичен подход на изследването са публикувани под лиценза Creative Commons BY-NC-SA 4.0, който позволява некомерсиално използване, споделяне и адаптиране при запазване на авторството и споделяне при същите условия. Всички графични обекти, включително визуализации, схеми и банери, са публикувани под лицензионната рамка Free Art Logic for Ethical Oncology, гарантираща етично използване, прозрачност и достъпност в контекста на пожарна безопасност.

Материалното и енергийното обезпечение на изследванията се провежда на територията на факултет ПБЗН към Академията на МВР и отдел ЦИЕ при ГДПБЗН – МВР.

БИБЛИОГРАФИЯ

Gao, D., Liu, Q. Review of the Research on the Identification of Electrical Fire Trace Evidence, Procedia Engineering, v.135, p.29÷32, ISSN 1877-7058, DOI: 10.1016/j.proeng.2016.01.075, (2016);

Bhatia, A. "Introduction to Short Circuit Analysis" (PDF). PDHonline. sec. What causes a short circuit?. Archived (PDF) from the original on (3 July 2019);

Heaviside, O. The Electrician, p. 212÷23, reprinted as Electrical Papers, Volume II, p 64, AMS Bookstore, ISBN 0-8218-3465-7, (1886);

ICDD - International Center for Diffraction Data, https://www.icdd.com;

Kitaygorodskiy, A. I., Rentgenostrukturny analiz melkokristallicheskikh i amorfnykh tel, Gosudarstvennoye izdatelstvo tekhniko-teoreticheskoy literatury, M., (1952) [Китайгородский, А. И., Рентгеноструктурный анализ мелкокристаллических и аморфных тел, Государственное издательство технико-теоретической литературы, М., (1952)];

Smelkov, G.I., Kashulkin, B.I., Fetisov, P.A., Mitrichev, L.S., Toryanik, V.V., Yashevskiy, V.V., Rusev, E.D., Stefanov, S.Z., Vasilev, I.S., Tselovski, I.A. i Botev, P.A., Metodicheski ukazaniya za opredelyane na kasite saedineniya po provodnitsi s medni zhila, NLPB pri TSUPO, MVR, (1980) [Смелков, Г.И., Кашулкин, Б.И., Фетисов, П.А., Митричев, Л.С., Торяник, В.В., Яшевски, В.В., Русев, Е.Д., Стефанов, С.З., Василев, И.С., Целовски, И.А. и Ботев, П.А., Методически указания за определяне на късите съединения по проводници с медни жила, НЛПБ при ЦУПО, МВР, (1980)];

Azarov, A., Burger, M.D., Metod poroshka v rentgenografii, Izd. Inostrannoy literatury, M., (1961) [Азаров, А., Бургер, М.Д., Метод порошка в рентгенографии, Изд. Иностранной литературы, М., (1961)];

Kitaygorodskiy, A. I. Rentgenostrukturnyy analiz. Moskva–Leningrad: Gosudarstvennoye izdatelstvo tekhniko-teoreticheskoy literatury, 1950. 650. [Китайгородский, А. И. Рентгеноструктурный анализ. Москва–Ленинград: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1950. 650 с.];

Smirnov, K. P. Iz opyta opredeleniya prichin pozharov, svyazannykh s ekspluatatsiyey elektroustanovok. Moskva: Izdatelstvo MKH RSFSR, 1963. 71. [Смирнов, К. П. Из опыта определения причин пожаров, связанных с эксплуатацией электроустановок. Москва: Издательство МКХ РСФСР, 1963. 71 с.];

Basics of image processing, https://vincmazet.github.io/bip/ ;

Collins, T. J. (2007). ImageJ for Microscopy. BioTechniques, 43(sup1), S25–S30. https://doi.org/10.2144/000112517;

ImageJ. Image Processing and Analysis in Java. National Institutes of Health (NIH), imagej.net/ij/ (accessed 11.08.2026).