

Дослідження великих перехідних опорів у контактних з'єднаннях електричних мереж

Сергій Остапов

головний судовий експерт Центру судових і спеціальних експертиз, Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України, м. Київ, Україна,
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8088-7261>, e-mail: ssstapov@gmail.com

Михайло Кузьменко

заступник начальника відділу пожежотехнічних досліджень, Київський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр Міністерства внутрішніх справ України, м. Київ, Україна,
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9083-8262>, e-mail: mixa01@ukr.net

Розглянуто великі перехідні опори (ВПО) як поширений пожежонебезпечний режим електричних мереж і труднощі їх виявлення після пожежі. Проаналізовано фізичні процеси їх утворення, зокрема локальне нагрівання, електроерозію та мікродугові розряди. Узагальнено основні морфологічні ознаки, що формуються на контактних поверхнях, та особливості їх прояву залежно від умов експлуатації й матеріалів контактів. Запропоновано поетапний підхід до дослідження контактних з'єднань із застосуванням візуального огляду та мікроскопічного аналізу. Обґрунтовано необхідність застосування інструментальних методів для підвищення достовірності визначення ознак ВПО та висновків експерта.

Ключові слова: дослідження електричних провідників із ознаками короткого замикання; великі перехідні опори; ВПО; контактні з'єднання, електричні мережі; пожежна небезпека; локальний перегрів; електроерозія; мікророзряди; контактні поверхні.

Investigation of High Contact Resistance in Electrical Network Connections

Serhii Ostapov, Mykhailo Kuzmenko

The abstracts consider high contact resistance (HCR) as a common fire-hazardous operating mode in electrical networks and the difficulties of its post-fire detection. The physical processes of its formation are analyzed, including local heating, electroerosion, and micro-arc discharges. The main morphological features formed on contact surfaces are summarized, as well as the specifics of their manifestation depending on operating conditions and contact materials. A step-by-step approach to the examination of contact connections is proposed, involving visual inspection and microscopic analysis. The necessity of using instrumental methods to improve the reliability of identifying HCR features and expert conclusions is substantiated.

Keywords: investigation of electrical conductors with signs of short circuit; high contact resistance; HCR; contact connections; electrical networks; fire hazard; local overheating, electroerosion; micro-discharges; contact surfaces.

Великі перехідні опори (далі — ВПО), або «поганий контакт», є одним із найбільш поширених пожежонебезпечних режимів в електричних мережах. У низці випадків сліди локального нагрівання, що виникають у ВПО, можуть бути виявлені візуально, однак у більшості ситуацій після пожежі їх визначення та фіксування є складним експертним завданням. Це зумовлено як зміною морфології контактних поверхонь під впливом високих температур, так і відсутністю уніфікованих підходів до ідентифікації характерних ознак ВПО. На практиці пошук таких слідів часто має фрагментарний та інтуїтивний характер, що при-

зводить до їх невиявлення та, відповідно, до ускладнення визначення причиново-наслідкових зв'язків під час дослідження пожеж.

ВПО — це аварійний пожежонебезпечний режим, що виникає внаслідок недостатньої площі контакту між провідниками, порушень у з'єднаннях або їх деградації. У місці контакту під час проходження електричного струму виникає локальне тепловиділення, інтенсивність якого обернено пропорційна площі контакту. Це призводить до поступової деформації контактних поверхонь, ще більшого зменшення площі контакту та розвитку стійких теплових процесів. Поміж чинників,



що сприяють виникненню ВПО, слід відзначити механічні пошкодження провідників, вигини або надломи за збереження контакту «жила — жиля», старіння контактних з'єднань, дефекти монтажу й неякісне складання контактних вузлів. За певних умов локальне перегрівання може супроводжуватися виникненням мікроскопічних дугових розрядів, що додатково підвищує температуру в зоні контакту та значно збільшує пожежну небезпеку.

ВПО з погляду пожежної небезпеки можуть проявлятися у двох видах: іскріння (іскровий режим) і локальне нагрівання (безіскровий режим). Ці види ВПО можуть виникати як окремо, так і одночасно в одній точці електричного кола залежно від зовнішніх умов (температури, вологості, агресивності середовища), сили струму й інших чинників (зокрема, вібрацій тощо). Багаторазові мікророзряди залишають на контактних поверхнях сліди електроерозії у вигляді кратерів, мікрооплавлень, гребенів (далі подібні сліди називаються дефектами, характерними для ВПО). Така структура, що утворюється на контактах із різних матеріалів (алюмінію, міді, сталі, латуні тощо), добре спостерігається під час дослідження поверхні за допомогою мікроскопу.

Якщо іскріння в місці контакту не відбувається, але площа контакту недостатня для нормального проходження струму, у зоні дотику контактних провідників також виникає локальне підвищення температури, що може призвести до оплавлення контактної ділянки. Сліди, що утворюються за даного виду ВПО, характеризуються так: ділянки оплавлення розташовані на значній площі, а під час їх дослідження за великих збільшень (300×—200×) можна розрізнити округлу структуру без граней й гострих кромки. Зовнішньо така структура нагадує хвилі. До того ж яскраво виражені кратери, впадини та мікрооплавлення відсутні. Оскільки оплавлення має значні геометричні розміри, характерні для режиму іскріння, западини також не спостерігаються.

Під час виготовлення будь-яких деталей на їх поверхні залишаються технологічні дефекти (далі — технологічні сліди): смуги волочіння на проводах, сліди інструментально-

го оброблення (різця, фрези, штампування) на інших деталях. Зазначені технологічні сліди зазвичай мають характерний лінійний рисунок, який суттєво відрізняється як від виду дефектів, що виникають унаслідок електроерозії, так і від структури поверхні після руйнування оксидної плівки. Отже, наявність технологічних слідів на контактуючих елементах є своєрідним індикатором того, що поверхня не зазнала суттєвих змін у результаті відшарування оксидного шару. Водночас зникнення технологічних слідів свідчить про зміну поверхневого шару досліджуваного об'єкта та можливу втрату ознак ВПО або, навпаки, про появу нових дефектів, зумовлених нерівномірним відшаруванням оксидної плівки.

Дослідження контактних з'єднань передбачає поетапний підхід. Початковим етапом є візуальний огляд, який проводиться неозброєним оком або з використанням оптичного мікроскопа. У разі наявності зібраного контактного вузла оцінюється його загальний стан, зокрема наявність руйнувань, сплавлень, видимих дефектів з'єднання та стан електроізоляційних матеріалів. Далі контактний вузол підлягає розбиранню або, за неможливості демонтажу, обережному механічному розділенню для отримання доступу до контактних поверхонь. У випадках, коли розбирання неможливе, це фіксується у висновках, а дослідження обмежується доступними елементами, зокрема провідниками, які відбираються для аналізу шляхом їх відрізання на мінімально можливій відстані від вузла.

Під час опису контактуючих елементів визначають тип з'єднання (скрутка, клемне, болтове, роз'ємне), передбачуваний матеріал, геометричні характеристики, а також стан контактних поверхонь і ізоляції, включно зі ступенем її термічного ураження. На підставі результатів візуального огляду відбираються об'єкти, що мають ознаки локального перегрівання, дефекти з'єднання, каверни, нерівності контактних поверхонь або кольори мінливості.

Подальше інструментальне дослідження здійснюється із застосуванням мікроскопії за збільшень 50×—500× з метою вивчення структури контактної поверхні та виявлення

технологічних слідів і дефектів, характерних для ВПО. Аналіз проводять по всій площі контакту з можливістю дослідження з різних ракурсів. За наявності сукупності ознак, характерних для ВПО, роблять висновок про їх присутність у досліджуваному контактному вузлі, що дає змогу обґрунтувати їх можливу роль у виникненні пожежі.

Отже, комплексний підхід до дослідження контактних з'єднань, що поєднує візуаль-

ні та інструментальні методи, є необхідною умовою для достовірного виявлення ознак великих перехідних опорів. Визначення сукупності характерних морфологічних ознак (електроерозійних дефектів, форм оплавлення та збереження або втрати технологічних слідів) дає змогу обґрунтовано ідентифікувати наявність ВПО та підвищити об'єктивність висновків експерта щодо причин виникнення пожеж.

Перелік джерел посилання

1. Scientific Protocols for fire investigation. Second Edition, by John J. Lentini, 2013 by Taylor & Francis Group, LLC CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business.
2. Fire investigation: a primer for courts Issued: March 2023 DES8082 ISBN: 978-1-78252-640-7.
3. Kirk's fire investigation / John D. DeHaan, David J. Iovine. 7th ed. p. cm. Includes bibliographical references and index.
4. Климась Р. В., Кріса І. Я., Саріогло Д. П. та ін. Методи дослідження пожеж : метод. посіб. Київ, 2010. 240 с.
5. Степаненко С., Білкун Д., Яник Я., Тимошук Ю. Дослідження пожеж : довід.-метод. посіб. Київ, 1999. 224 с.
6. Методика з теоретичних та практичних основ проведення судових пожежно-технічних експертиз / уклад.: О. Б. Шмерего, О. В. Лисенко, В. В. Кучинський, Л. І. Полешко, Ю. Б. Форіс, Л. В. Цвик, О. М. Гаврилюк, В. В. Фонрабе, І. В. Стельмашов, В. В. Сабадаш, В. С. Супрун, І. Л. Шебалков, Р. Н. Гусейнов, А. С. Беліков. Київ, 2019. 88 с. Реєстр. код 10.8.35.
7. Безвесільний В. Д., Дьяченко О. Ф. Розслідування та судові експертизи пожеж : Довід.-метод. посіб. Харків, 2007. 318 с.
8. Матіюк О. О., Рябінін І. М., Гусейнов Р. Н., Шебалков І. Л. Дослідження зовнішніх (візуальних) ознак наявності легкозаймистих і горючих рідин, виявлених на місці пожежі. *Теорія та практика судової експертизи і криміналістики*. 2020. Вип. 21. С. 373—387. DOI: 10.32353/khrife.l.2020.26 (дата звернення: 01.01.2026).
9. Матіюк О. О. Виявлення та аналіз зовнішніх (візуальних) ознак застосування легкозаймистих і горючих рідин на місці (об'єкті) пожежі : інформ. Київ, 2020. 31 с.
10. Пиріг І. В., Бідняк Г. С. Використання спеціальних знань на досудовому розслідуванні : навч. посіб. Дніпро, 2019. 140 с.
11. Таран О. В., Кіцелюк В. М., Грига М. А. Розслідування порушень встановлених законодавством вимог пожежної безпеки : метод. рек. Київ, 2017. 48 с.