

УДК 658.328.3

DOI 10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2024-25-07

Дашковська О. П., Книш О. І., Дзюба С. В.

Одеська державна академія будівництва та архітектури

КОНТРОЛЬ ВЕЛИЧИНИ ПЕРЕХІДНИХ ОПОРІВ НУЛЬОВОГО ПРОВОДА ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ ПОЖЕЖІ

Проведений аналіз причин аварійної роботи електромереж в старих будівлях, в яких дуже збільшилась насиченість приміщень технічними системами життєзабезпечення, в результаті чого збільшилось навантаження електричних мереж, яке перевищує розрахункові значення та викликає часте аварійне відключення електромережі, яка своєчасно не пройшла обстеження. Розглянутий вплив обриву нульового провідника на аварійну ситуацію в електромережі, що може призвести до перевантаження одних електромереж та зменшення напруги в інших, як наслідок - зростання температури провідників електромережі, що приводить до загоряння оточуючих будівельних конструкцій та виникнення пожежі. Розглянута поведінка нульового провідника на врівноваженість системи та протікання компенсаторного струму по нульовому провіднику та вплив різних факторів, які можуть призвести до аварійної ситуації. Обґрунтована необхідність подальших пошуків технічних рішень для захисту електричних мереж від великого перехідного опору внаслідок обриву нульового проводу.

Ключові слова: пожежа, електричне джерело займання, нейтраль, електрообладнання; нульовий провід; великий перехідний опір, асиметрія фазових напруг.

Постановка проблеми. Використання електричної енергії для функціонування адміністративних установ, навчальних закладів та забезпечення комфорту в наших оселях стало настільки звичними, що ми нерідко забуваємо про безпеку, яку вона може викликати при недотриманні правил безпеки експлуатації споживачами електричних мереж та приладів. Особливу небезпеку представляють електромережі, які експлуатуються в житлових та адміністративних будівлях історичної забудови наших міст.

Як показують статистичні дані 43,4% пожеж в Україні трапляються саме внаслідок порушення правил улаштування і експлуатації електромереж, особливо в житловому секторі.

Якщо усі пожежі прийняти за 100%, то відповідно до статистичних даних про пожежі в Україні, пожежі від електроустановок у середньому складають 25%. У різних країнах світу, у залежності від особливостей ведення статистичного обліку пожеж, відсоток коливається від 20 % до 30 %.

Згідно Звіту «Про основні результати діяльності Державної служби України надзвичайних ситуацій ДСНС у 2023 році», яка реалізує державну політику у сфері цивільного захисту, населення і територій від надзвичайних ситуацій та запобігання їх виникненню, ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, рятувальної справи, гасіння пожеж, пожежної та техногенної безпеки у 2023 році її основні зусилля наряду з ліквідацією наслідків збройної агресії росії проти України та наданні допомоги населенню, були зосереджені на гасінні пожеж та рятуванні людей; забезпечення нормальних умов життєдіяльності населення [1].

В 2023 році в Україні зареєстровано 67 934 пожеж. Унаслідок пожеж загинуло 1472 людини, у тому числі 40 дітей; 1551 людина отримали травми, у тому числі 145 дітей. Кількість дітей і підлітків до 18 років, які загинули внаслідок пожеж, збільшилася на 11,1%; кількість дітей і підлітків до 18 років, травмованих на пожежах, – на 18,9%. В середньому щодня в Україні виникало 186 пожеж, матеріальні втрати від яких становили 226 млн 76 тис. гривень; щодня внаслідок пожеж гинули 4 людини та 4 людини отримували травми; вогнем знищувалося або пошкоджувалося 78 будівель (споруд) і 15 одиниць техніки. Матеріальні втрати від пожеж становили 80 млрд 517 млн 865 тис. грн.

До основних причин виникнення пожеж електротехнічного характеру може бути: виникнення електричної дуги, коротке замикання, великий перехідний опір, іскріння, перехід електричного струму на металеві заземлюючі конструкції, перехід електричного струму на слаботочні електричні лінії (радіо, телефони), теплова дія електронагрівальних приладів, теплова дія електричних ламп накаливання (їх аварійний режим та проплавлення колб), аварійний режим роботи люмінесцентних світильників, перевантаження електричної мережі.

Аналіз літературних даних. При порушенні правил пожежної безпеки при влаштуванні та експлуатації електроустановок джерелом запалювання являються аварійний режим роботи.

основних причин виникнення аварійних режимів роботи електромережі відносяться: перевантаження, коротке замикання, великі перехідні опори, які можуть виникати внаслідок багатьох причин, в тому числі і за рахунок наявності ділянок з великими перехідними опорами (ВПО) в нульовому проводі чотирьох провідної трьохфазної електромережі з глухо заземленою нейтраллю. ВПО виникають за рахунок втрати щільності контактних з'єднань, старіння, окислення металу, механічного пошкодження жили провідника, при надмірних та тривалих перевантаженнях. [2].

Найбільш надійний електричний ланцюг – це ланцюг з мінімальним числом розривів та з'єднань. Будь-який додатковий вузол контакту знижує загальну надійність всього контуру. Контактні з'єднання є невід'ємними ланками будь-яких ланцюгів: освітлювальних, і розеткових, і живлення апаратів, й просто лініями зв'язку між найближчою підстанцією та споживачами. Проявляється це зазвичай як нагрів провідників у місцях приєднання, а у основі такого явища лежить перехідний електричний опір. При цьому перехідний контактний опір завжди безпосередньо пов'язаний з рівнем аварійності об'єкта, тому необхідно домогтися найменшого перехідного опору та зберегти цей ефект на максимально можливий термін.

Місця з'єднання жил проводів і кабелів, а також з'єднувальні та відгалужувальні затискачі повинні мати мінімальний перехідний опір та виконуватись за допомогою опресування, зварювання, паяння або затискачів, щоб уникнути їх перегрівання і пошкодження ізоляції стиків. Втрати опору ізоляції на стиках повинні бути не більше втрат опору ізоляції на цілих жилах цих проводів і кабелів. Попри заборони нормативних документів на теперішній час найпоширенішим способом з'єднання провідників є скручування, яке не являється безпечним, і потребує заміни альтернативними безпечними варіантами з'єднань, наприклад, зварювання, паяння, опресування, клемні колодки. Проте є випадки коли ми не можемо використати зварювання контактів у пожежо- та вибухонебезпечних зонах, при працюючих агрегатах. Тому підхід до вирішення проблеми повинен бути комплексним і враховувати усі особливості процесу [3].

В роботі [4] в лабораторних умовах проведено моделювання великих перехідних опорів пожежонебезпечного режиму, що виникає в електротехнічних пристроях при протіканні електричного струму через так званий «поганий контакт». Сліди процесів, які протікають в неякісних контактних сполученнях в умовах великих перехідних опорів також були змодельовані в лабораторних умовах та досліджені різними методами: оптичної мікроскопії, металографії, растрової електронної мікроскопії. Встановлено, що найбільш інформативним методом виявлення характерних для ВПО слідів є растрова електронна мікроскопія (РЕМ). Показано, що поверхня контактів, яка зазнала вплив процесів, які виникли при проходженні електричного струму через ВПО, може мати сліди множинних іскрових мікророзрядів.

Порушення правил пожежної безпеки при експлуатації електроустановок, наявністю великої кількості старих електромереж не розрахованих на значну кількість електрообладнання з великою споживаною потужністю, висока ступінь зношеності будівель їх конструктивних елементів та інженерних мереж, особливо в будівлях історичної забудови, значно підвищує ризик виникнення пожеж. До середини 90 - х років в будівлях громадського і житлового призначення використовувалися алюмінієві провідники, а потужність електрообладнання були незначними [4].

Дуже важливо встановити причину пожежі, адже від цього залежить не тільки подальша робота електричної мережі, але і термін її служби. Тому огляд з місця пожежі для встановлення причини виникнення пожежі необхідно починати не тільки з приміщення, де почалася пожежа від електрообладнання, а необхідно обстежити стан всієї електричної мережі, починаючи від джерела живлення – трансформаторної підстанції - до найбільш віддалених споживачів електроенергії, які знаходяться на об'єктах пожежі.

В роботі [5] проаналізований стандартизований метод оцінки пожежної небезпеки електроустановок та досліджено його застосування для розрахунку імовірності виникнення пожежі внаслідок зростання перехідного опору контактних з'єднань. На підставі цього розроблені методологічні засади та технічні засоби контролю стану електричних мереж житлових та громадських будівель.

У роботі [6]. проводиться удосконалення вимог до вогнестійкості кабельних ліній живлення та управління систем протипожежного захисту будинків і споруд для подальшої їх реалізації в національних стандартах та будівельних нормах України. Якщо такі кабелі мають функціонувати в умовах пожежі протягом більше ніж 1 хв, то вони повинні бути вогнестійкими в умовах випробування за стандартом температурного режиму.

Метою дослідження [7] є підвищення електробезпеки мереж з ізольованою нейтраллю, що включають частотні перетворювачі, за рахунок контролю активного опору ізоляції відгалуження змінної частоти.

У європейських гармонізованих нормативних документах [8-10] встановлено вимоги щодо використання в системах електропроводки (кабельних лініях) будинків і споруд.

Незалежна оцінка стану використання пристроїв виявлення дугових замикань (AFDD) у Норвегії проведена в роботі [11]

У роботі [12] представлено та оцінено вплив споживаної споживачами потужності на значення показників коефіцієнта несиметрії нульової напруги у компенсованих електричних мережах середньої напруги із заземленою через індуктивність (котушку Петерсена) нейтраллю.

У роботі [13] пропонується технологія придушення неврівноваженого перенапруги та придушення дуги напруги на основі гнучкого керування напругою нульової послідовності розподільчої мережі.

Кожна методика має певні переваги та недоліки. Проте жодна з методик, що наведена вище, не дозволяє розрахувати ймовірність виникнення пожежі.

Постановка задачі та її розв'язання. Наша держава на сьогоднішній день знаходиться у стані війни, а наші вітчизняні електромережі знаходяться під постійними ракетними обстрілами, атаками БПЛА та постійним позачерговим ремонтом, тому вихід електромережі із ладу можливий в любую хвилину, а стрибок напруги – цілком типова ситуація, яка може призвести і до перегорання з'єднань провідників, до виникнення великих перехідних опорів і не тільки вивести із ладу любе обладнання, а й призвести до загорання.

Збільшення великих перехідних опорів ділянки електричного нульового проводу може виникати з різних причин та може бути викликано різними передумовами. Найбільш розповсюджені з них в електромережах будівель наступні: неякісний початковий монтаж; відсутність поточного обслуговування; асиметрія навантаження в розподільчому щиті відповідного під'їзду будівлі; вік електропроводки тощо. Слід відмітити, що ранжувати дані причини по важливості неможливо, тому що кожна з них через деякий час після монтажу майже з однаковою ймовірністю може привести до збільшення ВПО, або обриву загального нульового провідника. Частіше всього одноразове співпадіння декількох передумов, може прискорити той момент, коли провідник, який відводить електричний струм буде повністю відключений, тобто ВПО ділянки стане безкінечним.

На етапі монтажу поверхового щита, або під'їзної шафи, електрики могли виконати неякісне закріплення провідної жили в клемнику, що в подальшому могло провокувати постійне нагрівання.

Відсутність поточного обслуговування є логічним продовженням попереднього погано змонтованого з'єднання, якщо воно ніколи не перевірялось та не підтягувалося, окисли та іржа не очищалися з контактних площадок, в результаті чого нульовий провідник просто відгорів або від'єднався від своєї клема.

Збільшення ВПО ділянки електричного нульового проводу може виникати з різних причин та може бути викликано різними передумовами.

Так як в Україні на сьогоднішній день відбуваються воєнні дії, дуже багато сімей покинули свої квартири та виїхали за кордон, тому дуже часто одна квартира споживає більше електроенергії, друга значно менше (так як залишилися тільки люди похилого віку), а третя зовсім не споживає. В результаті цього по нульовому провіднику протікає компенсаторний струм, який термічно впливає на якість металу жили та через деякий час може привести до повного вигорання нуля.

Всі будівлі історичної забудови мають високий ступінь зношеності конструктивних елементів та інженерних мереж, а саме, головне те, що вся електромережа їх просто не була розрахована на рівень навантаження сьогодення. Тому старий нульовий провід, який страждає від часу та від надмірних навантажень неминуче розрушується, особливо в місцях з'єднань.

Електроенергія подається до споживача за лінійними кабелями. Нульовий провідник (нейтраль) використовується в електромережі для повернення струму від споживача назад до генеруючої станції. Нейтраль у нормальному стані виступає у ролі захисту та не має напруги.

Від трансформаторної підстанції електроенергія передається споживачеві за трьохфазною мережею. Вона складається з трьох провідників з робочою напругою, а також нульового та заземлюючого провідників. Пара робочих провідників мають між собою лінійну напругу $U_{л}=380$ В. Робочий провідник та нуль у парі мають напругу фазу $U_{ф}=220$ В.

За допомогою нульового провідника відбувається також саморегулювання навантаження у трьохфазній мережі. При нерівномірному навантаженні на фазах струм перерозподіляється через нульовий провід, що дозволяє системі автоматично зрівноважуватись. Якщо ж електричний опір нульового провідника перевищує допустимі значення або виникає його обрив, то виникає аварійна ситуація в електромережі фазної напруги $U_{\phi}=220$ В в наслідок якої може виникати перевантаження одних електромереж та зменшення напруги в інших.

В однофазній мережі електричний струм I_{ϕ} тече по робочому провіднику до споживача та виходить у нейтраль. Напруга у нормальній ситуації між ними $U_{\phi} = 220$ В. У разі, коли опір нульового провідника R_0 збільшується, або стає безкінечним, то по мірі збільшення опору електромережі споживачів будуть переходити до підключення за схемою «зірка» без нульової магістралі». Це означає, що кожний споживач отримає не фазну стабільну напругу в $U_{\phi} = 220$ В, а лінійну $U_{\text{л}}=380$ В, яка, розподіляється між послідовно попарно з'єднаними споживачами. Із-за нерівномірного навантаження в електромережах різних споживачів, напруга на них може змінюватись в діапазоні від $U_{\text{л}} = 0$ В до $U_{\text{л}} = 380$ В. Коли напруга в електромережі споживача U_{ϕ} перевищує допустимі значення виникає аварійний режим роботи електромережі, зростає температура провідників електромережі, що приводить до загоряння оточуючих будівельних конструкцій та виникнення пожежі.

При обриві нейтралі (у ситуації з великим перехідним опором) лінійна напруга $U_{\text{л}}=380$ В розподіляється між послідовно з'єднаними споживачами різних фазних електричних мереж. Лінійна напруга перевищує фазну, тому при послідовному з'єднанні споживачів розподіл напруги на елементах проходить обернено пропорційно потужності споживачів. Перевищення падіння напруги $U_{\phi} = 220$ В на споживачі виходить більша напруга, яка й провокує вихід з ладу техніки.

З іншого боку, коли напруга зменшується (U_{ϕ} менше 198 В) погіршується або припиняється робота електричних приладів.

Як приклад, розглянемо три споживачі, які підключені до різних фаз (рисунок 1), а саме:

- споживачі підключені до першої фази електромережі $U_{\phi 1}$ використовують потужні електроприлади;
- споживачі підключені до другої фази електромережі $U_{\phi 2}$ залишили у режимі очікування деяку техніку малої потужності;
- споживачі підключені до третьої фази електромережі $U_{\phi 3}$ відключили свої електроприлади та не використовують електричну енергію так як квартира залишаються без господаря.

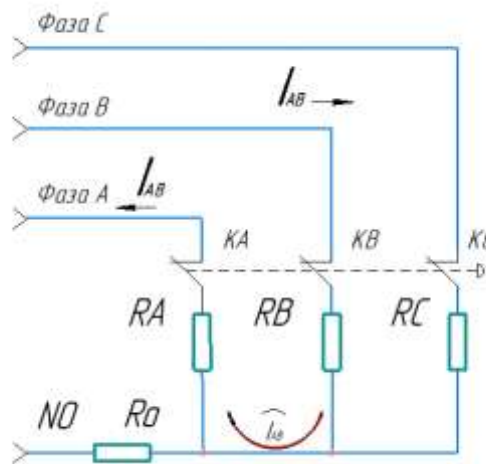


Рисунок 1 – Приклад підключення споживачів до різних фаз

У випадку, коли в мережі постачання опір нульового провідника R_0 наближається до безкінечності, а лінійна напруга $U_{\text{л}} = 380$ В виникає аварійний режим: асиметрія напруг фаз, в результаті чого, в одних споживачів напруга U_{ϕ} збільшується, а в інших зменшується, а саме:

- у споживачів підключених до першої фазної електромережі $U_{\phi 1}$ напруга на споживачах буде зменшуватись до 50...100 В, тому у споживачів першої фазної електромережі техніка буде працювати зі збоями, або припинить роботу тому, що напруга зменшиться;

- у споживачів підключених до другої фазної електромережі $U_{\phi 2}$ напруга на споживачах буде збільшуватись до 300...350 В підключені прилади вийдуть з ладу, а від теплової дії електричної енергії можливо виникне пожежа;

- у споживачів третьої фазної електромережі $U_{\phi 3}$ напруга на споживачах збільшиться до 300...350 В, проте споживачі третьої фазної електромережі відімкнені від електромережі, тому вони не постраждають.

Висновки. Таким чином для запобігання пожежам від теплової дії електричної енергії у будинках історичної забудови окрім контролю дотримання правил їх експлуатації, технічного стану електричного обладнання, електричних систем та приладів на наявність пошкоджень, використання безпечних електроприладів необхідно регулярно проводити контроль електричного опору нульового проводу провідника постачальної електромережі R_0 та наявність його пошкодження.

Величина R_0 відображає якість провідників та є гарантією безпеки електромережі. Величина перехідного опору нульового проводу не повинна перевищувати опір неушкодженого провідника більше як на 10 %. Це є одним з найважливіших показників стану електричної мережі.

Терміни перевірки нульового провідника постачальної електромережі R_0 на наявність великих перехідних опорів, які не відповідають технічним вимогам, що регулюють експлуатацію електричних мереж та електроустановок визначаються в відповідності до вимог нормативних документів. Періодичність вимірювання опору R_0 залежить від типу та категорії електроустановки, а також від умов її експлуатації. Зазвичай, цей термін встановлюється відповідно до вимог безпеки, ефективності та економічної доцільності.

Особливу увагу необхідно звернути на визначення R_0 прихованої проводки для визначення необхідних заходів для підтримання надійності та безпеки електричних мереж підвісних стель.

Для зниження ризику обриву нуля та інших аварійних ситуацій рекомендується дотримуватись наступних правил експлуатації трифазних електричних мереж:

1. Дотримання нормативів та стандартів. Усі роботи з монтажу та обслуговування електричних мереж повинні проводитись відповідно до чинних нормативів, вимог та стандартів. Це стосується як вибору матеріалів, так і методів монтажу та підключення обладнання.

2. Періодичне проведення діагностичних перевірок стану електропроводки, з'єднань, контактів та захисних пристроїв дозволить виявити потенційні проблеми на ранній стадії.

3. Навчання та підготовка персоналу. Електрики, що обслуговують, повинні бути навчені правильної експлуатації та обслуговування електричних мереж, а також заходам реагування на аварійні ситуації.

4. Планові заміни та модернізації. Електричне обладнання, що має ознаки зношування, слід замінювати планово, не чекаючи його виходу з ладу. Модернізація системи з використанням сучасних технологій також сприяє підвищенню надійності та безпеки роботи мережі.

Інформаційні джерела

1. ЗВІТ про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2023 році.

2. НАПБ А.01.001-2014. «Правила пожежної безпеки в Україні».

3. Правила улаштування електроустановок. – Х.: Видавництво «Індустрія», 2017. 736 с.

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

5. Nazarovets O., Rudyk Y., Pererva R. Експериментальне дослідження параметрів пожежної небезпеки контактних з'єднань в електропроводах. April 2024. Journal of Scientific Papers Social development & Security 14(2):161-178. DOI:10.33445/sds.2024.14.2.15

6. Ігнатко А.І., Гулик Ю.Б. Про стан розроблення стандартів з питань пожежної безпеки міжнародними, регіональними та національними організаціями із стандартизації Зб. наук. праць ЛШПБ. Л: Сполом, 2001. №1. С. 60-62.

7. Василець К.С., Василець С.В. Контроль стану ізоляції відгалуження електричної мережі з перетворювачем частоти. Зб. наук. праць V Всеукр. наук.-техн. конф. Автоматизація, контроль та управління: пошук ідей та рішень (АКУ-2019)» в м. Покровську 21-22 травня 2019 р. - Покровськ, ДонНТУ, 2019. С. 69-72.

8. HD 60364-4-42:2011 Low voltage electrical installations – Part 4-42: Protection for safety – Protection against thermal effects (IEC 60364-4-42:2010, modified) (Установки електричні низьковольтні. Ч. 4-42. Заходи безпеки. Захист від термічних ефектів).

9. HD 60364-5-52:2011 Low-voltage electrical installations – Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment – Wiring systems (IEC 60364-5-52:2009, modified + corrigendum Feb. 2011) (Установки електричні низьковольтні. Ч. 5-52. Вибір та монтаж електричного устаткування. Системи електропроводки).

10. HD 60364-5-56:2010 Low-voltage electrical installations – Part 5-56: Selection and erection of electrical equipment – Safety services (IEC 60364-5-56:2009) (Установки електричні низьковольтні. Ч. 5-56. Вибір та монтування електричного устаткування. Системи безпеки).

11. Status of the use of arc fault detection devices in Norway. IFE, Institute for Energy Technology. 25 March 2022.

12. Grzegorz Hołdyński, Zbigniew Skibko, Andrzej Borusiewicz. Analysis of the Influence of Load on the Value of Zero-Voltage Asymmetry in Medium-Voltage Networks Operating with Renewable Energy Sources. *Energies* (2023), 16(2), 580; <https://doi.org/10.3390/en16020580/>

13. Duyaο Zhou, Shilong Li, Xueneng Su, Shihang Sun, Xiaohan Liu, Xiangjun Zeng. New Technology of Three-phase Unbalanced Overvoltage Suppression and Voltage Arc Suppression Based on Distribution Network. *Journal of Physics: Conference Series* 2479 (2023) 012018 doi:10.1088/1742-6596/2479/1/012018

Dashkovska O., Knysh O., Dzyuba S.

Odesa State Academy of Construction and Architecture

CONTROL OF THE VALUE OF TRANSIENT RESISTANCES OF THE NEUTRAL WIRE OF THE ELECTRIC NETWORK TO PREVENT FIRE

The article analyzes the causes of emergency operation of electrical networks in old buildings, where the saturation of premises with technical life support systems has increased significantly, resulting in an increased load on electrical networks that exceeds the calculated values and causes frequent emergency shutdowns of the electrical network that has not been inspected in a timely manner. The article examines the effect of a break in the neutral conductor on an emergency situation in the electrical network, which can lead to an overload of some electrical networks and a decrease in voltage in others, as a consequence - an increase in the temperature of the electrical network conductors, which leads to ignition of surrounding building structures and a fire. The article examines the effect of the neutral conductor on the balance of the system and the flow of compensatory current through the neutral conductor and the influence of various factors that can lead to an emergency situation. The need for further searches for technical solutions to protect electrical networks from high transition resistance as a result of a break in the neutral conductor is substantiated.

Key words: fire, electrical ignition source, neutral, electrical equipment; zero wire; high transition resistance, phase voltage asymmetry.