

В.О. Шведов, Ю.І. Рудик

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна

## ФУНКЦІЇ АПАРАТІВ ЗАХИСТУ У СИСТЕМІ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ЕЛЕКТРОІНСТАЛЯЦІЙ

Досягнута мета дослідження щодо визначення нормативних вимог пожежної безпеки апаратів захисту в електропроводках 0,4 кВ. Охарактеризовано основні функції апаратів захисту, що впливають на пожежну безпеку електроінсталяцій, визначено можливості посилення функцій апаратів захисту, обґрунтовано підхід до формування подальших досліджень для впровадження нових функцій апаратів захисту.

**Ключові слова:** апарати захисту, системи пожежної безпеки, електроінсталяції, ОПН, перенапруги, пристрої захисту від імпульсних перенапруг

### Постановка проблеми

Сьогодення вимагає впровадження та улаштування технологічних процесів за допомогою електронного обладнання. Розуміючи [1], що ринок електроенергії в усьому світі змінюється завдяки зростаючій інтеграції розподілених енергетичних ресурсів, а також необхідності забезпечення підвищення надійності, стійкості та ефективності мереж передачі та розподілу електроенергії, можна усвідомити, що сучасне обладнання є чутливим до імпульсних перенапруг, які виникають в мережі, а також при ударі блискавки. Враховуючи автоматизацію процесів та насиченість електронним та електричним обладнанням промисловості та побуту існує високий ступінь ризику аварійного режиму роботи електропроводів та виникнення горіння і пожежі, що може призвести до масштабних аварій. Вихід з ладу одного давача енергії в електричних мережах часто призводить до зупинки технічного процесу і багатотисячних втрат. Для критичних інфраструктурних систем, зокрема електроінсталяцій, що постійно наражаються на негативний вплив інцидентів та їх наслідків, відомо, що [2] вплив може бути одностороннім, або багатостороннім (тобто, синергічні ефекти) і кількісна оцінка синергетичних ефектів в критичній інфраструктурі, покращення функцій апаратів захисту є надзвичайно важливим компонентом енергетичної безпеки.

Згідно[3] 2022 року на 8 західних областей, всього функціонувало 24 підстанції, з них 10 підстанцій зазнали ворожих обстрілів від початку повномасштабного вторгнення, а також всього з 53-х повітряних ліній на західній Україні, 11 ПЛ були пошкоджені внаслідок обстрілів. Це призвело до збільшення кількості аварійних ситуацій, зокрема через додаткові виникнення перенапруг та шкідливих імпульсів в мережі і вплинуло на безпеку роботи споживачів електроенергії.

Електроінсталяції, будучи основою електропостачання об'єктів, відіграють ключову

роль у безпечному функціонуванні об'єктів. Однак, незважаючи на свою важливість, вони також представляють потенційні небезпеки, пов'язані з загорянням та пожежами. У цій статті розглядається питання про те, як функції апаратів захисту електричних мереж впливають на систему забезпечення пожежної безпеки електроінсталяцій.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз вітчизняних та закордонних публікацій свідчить, що напрямом розвитку систем електропостачання є інфраструктури: р2р-ринку для домогосподарств, мереж зарядок електромобілів, сервіси demand response, включаючи можливість участі в підтримці частоти в мережі та роботу в режимі віртуальної електростанції (VPP) [4]. Це призведе до подальшого збільшення вимог до надійності, безпеки та захисту електропостачання, зокрема збільшення функцій апаратів захисту.

Для розповсюдженого на даний час функціонального підходу до структуризації економічної безпеки підприємства [5] одним з її типових складових є: техніко-технологічна, що стосується аспектів, які визначають відповідність рівня технологій підприємства стандартам, а також наявність в підприємства потенціалу для подальшого розвитку. Відповідно впровадження покращених функцій апаратів захисту знизить долю ризиків для комерційних підприємств.

Статистичні дані про небезпечні фактори пожежі, втрати від пошкоджень майна, будівель та споруд підтверджують, що при оцінці ризику необхідно запровадити методологію, яка б відповідала умовам України.

Застосування різних методів розрахунку, оцінювання та порядкування ризиків під час проектування і компонування електропроводів дасть змогу реалізувати системний захист будівель, обладнання та людей. Для систем критичної

інфраструктури з багатьма послідовно-паралельними агрегатами, [6] розробка та виготовлення підсистеми з надзвичайно високим рівнем безпеки потребує значний обсяг економічних ресурсів. Збільшення функцій апаратів захисту може привести до покращення результатів методу критичних ризиків, оскільки зменшить загальну складову, що впливає на постановку проблеми розподілу безпеки

### Мета та завдання статті

Мета цієї статті – проведення дослідження нормативних вимог щодо функціоналу апаратів захисту в електропроводках 0,4 кВ за параметрами пожежної безпеки.

### Виклад основного матеріалу

Улаштування системи захисту залежить від оцінки ризику, реакції власника, впливу контрольних органів. Тому актуальним є прийняття рішення про вживання заходів протипожежного захисту в процедурах оцінювання ризиків, для реагування на ранніх стадіях критичних ситуацій. Також вживання заходів протипожежного захисту може бути прийнято незалежно від результатів оцінки загального ризику.

Серед загальних принципів оцінки ризику для середовища необхідно враховувати: ризик і визначення потреби в захисті; внесок різних компонентів ризику в загальний ризик; ефект різних заходів захисту для зменшення ризику; вибір заходів захисту з урахуванням їх економічної ефективності.

Перед тим як розглянути апарати захисту, необхідно зрозуміти основні ризики, пов'язані з загорянням в електроінсталяціях.

Електроінсталяції, будучи складною системою електропроводки та електрообладнання, піддаються різноманітним впливам, які можуть призвести до виникнення пожеж. Вони можуть бути викликані перегрівом проводів, коротким замиканням, перевантаженням кіл та іншими несправностями в електричних системах.

Перегрів проводів є одним з найбільш поширених і потенційно небезпечних ризиків в електроінсталяціях. Він може виникнути внаслідок недоліків у контактних точках, некоректного розміщення проводів або надмірного навантаження на провід. Під час перегріву проводів вони можуть почати плавитися або навіть загорітися, що може призвести до серйозних наслідків, включаючи пожежу.

Коротке замикання є ще одним впливовим фактором ризику в електроінсталяціях. Воно виникає, коли два електричні проводи неправильно

контактують або стикаються, що призводить до виникнення великої кількості тепла та іскор, що в свою чергу може спричинити загоряння або навіть вибух. Зокрема практична оцінка перехідного опору контактів є важлива, як тому, що це є показником стану контактів, так і тому, що саме це впливає на зміну рівня пожежної безпеки електропроводки у процесі експлуатації [7]. Тепловий режим замкнутих контактів апарату захисту, при високому значенні перехідного опору, сприяє дифузії металів, яка посилюється дією пружини підтискання. Ефект холодного зварювання контактів спричиняє деградацію стану їх поверхонь, яка посилюється щоразу при комутації, та знижує ймовірність спрацювання апарату захисту.

Обладнання, яке часто пов'язане з двома різними службами, наприклад лінії електропередач і лінії передачі даних, зазнають багато збитків, пов'язаних з перенапруженнями. Правильний вибір, встановлення та регулярне обслуговування апаратів захисту таких мереж суттєво знижує можливість загоряння та сприяє загальній безпеці об'єкта.

Перевантаження кіл також може стати причиною пожежі в електроінсталяціях. Воно виникає, коли на електричну мережу підключається надто велика кількість електричних приладів або обладнання, яке перевищує максимально допустиме навантаження.

Крім основних факторів ризику, також існують інші можливі причини пожеж в електроінсталяціях. До них можуть відноситися недоліки в установці або експлуатації електрообладнання, несправності в електропроводці або електроінструменті, недостатня вентиляція, вплив зовнішніх чинників, таких як пил, волога або корозія, а також інші непередбачувані обставини, які можуть спричинити порушення електричної безпеки та виникнення пожежі.

Таким чином, розуміння різноманітних факторів ризику в електроінсталяціях дозволяє приймати ефективні заходи з профілактики та захисту від пожеж, включаючи правильний вибір та установку апаратів захисту низьковольтних мереж. Ці апарати призначені для виявлення та запобігання різного роду несправностям, які можуть призвести до пожеж.

Наприклад, при перегріві проводів, через перевантаження ліній, неправильну установку або відповідність проводів, необхідним захистом є термічні реле або термічні вимикачі, які виявляють збільшення температури в проводах та відключають живлення, щоб запобігти загорянню.

Короткого замикання можна уникнути за допомогою, автоматичних вимикачів або диференційних реле струму, що можуть виявити замикання та негайно вимкнути живлення, щоб запобігти подальшому поширенню пожежі.

Неадекватна робота електричних приладів або обладнання також може призвести до небезпеки пожежі. Наприклад, неправильно налаштований або перегрітий електромотор може загорітися та спричинити пожежу. Апарати захисту двигунів виявляють ненормальні параметри роботи пристроїв та вимикають живлення, запобігаючи подібним ситуаціям.

Крім того, деякі інші можливі несправності, такі як пошкодження ізоляції проводів, корозія металевих елементів або некоректне заземлення, можуть також призвести до пожежі в електроінсталяціях. Таким чином, апарати захисту низьковольтних мереж виявляють та запобігають пожежам шляхом надійного контролю за роботою електроінсталяцій та швидкого реагування на будь-які потенційно небезпечні ситуації. Вони є невід'ємною складовою частиною системи безпеки.

Основні типи апаратів захисту, це: запобіжники, автоматичні вимикачі, диференційні автомати, обмежувачі перенапруг, пристрої захисту від імпульсних перенапруг, розрядники, дугозахисні пристрої, ізоляційні монітори, реле напруги та інші.

Конструкція апаратів захисту низьковольтних мереж в залежності від призначення, дозволяють їм виявляти пошкодження та приймати відповідні заходи для запобігання пожежам та іншим аварійним ситуаціям. Давайте розглянемо деякі з них більш детально:

Одним із важливих аспектів захисту від можливих пошкоджень електрообладнання є захист від перенапруг. Апарати та пристрої захисту від імпульсних перенапруг (ПЗІП) реагують на виникнення перенапруг, що може статися через блискавку або в результаті включення або відключення потужних електроприладів.

Пристрої захисту від перенапруг призначені для відведення енергії перенапруг до заземлення, забезпечуючи тим самим захист електричного обладнання від можливих пошкоджень. Вони працюють шляхом поглинання і розсіювання енергії перенапруги, що запобігає її подальшому поширенню по електричних мережах.

Обмежувачі перенапруг (ОПН) визначаються базовим складником [8] внутрішнього блискавкозахисту, а також нормативних вимог до захисту від перенапруги, що підкреслює актуальність дослідження їх впливу на пожежну безпеку.

Розглянемо пристрій захисту від імпульсних перенапруг, що захищає пристрої ввімкнені в електричну мережу від перенапруг, що створюються в середині мережі, наприклад від наведення зі сторони заземлення.

Перенапруга зі сторони робочого заземлення в мережі може виникнути через розсіювання струму в землі від найближчої системи заземлення блискавкозахисту. При ударі блискавки в зовнішню LPS (систему блискавкозахисту), її струм відводиться в землю і до 50% цього струму може зайти в будівлю через підземний ввід електроживлення та через робоче заземлення, що може призвести до пожежі. При виникненні перенапруги з боку заземлення (коли струм блискавки спробує пройти через робоче заземлення), ПЗІП створює режим короткого замикання, аналогічно як і з боку вводу, при якому напруга на долі секунди вирівнюється (різко зменшується) і, відповідно, стримує потік струму по провіднику. В результаті на обладнання потрапить декілька кіловольт, на відміну від кількох тисяч кВ за відсутності ПЗІП, оскільки варистор, який використовується у більшості моделей якісних ПЗІП безполосний і працює в обидва боки однаково.

Згідно з чинними нормами, тип та параметри апаратів захисту повинні відповідати вимогам ДБН та ПУЕ. Вони повинні бути обрані з урахуванням специфіки та надійності електричної мережі, а також вимог електротехнічних стандартів. Ще одним важливим фактором є вимоги до безпеки. Апарати захисту повинні відповідати стандартам та нормативам з безпеки електричних систем та забезпечувати надійний захист від ураження електричним струмом та пожеж.

Згідно 1.7.59 ПУЕ необхідно для заземлення територіально зближених електроустановок різних призначень і напруги застосовувати один спільний заземлювальний пристрій. Заземлювальний пристрій, який використовують для заземлення електроустановок одного призначення або різних призначень і напруг, протягом усього періоду експлуатації має відповідати всім вимогам до заземлення цих електроустановок: захисту людей від ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції, умовам режимів роботи мереж, захисту електрообладнання від перенапруги. Пункт 1.7.95 ПУЕ підкреслює, що сумарний опір усіх заземлювачів, приєднаних до PEN- провідника кожної лінії, у тому числі природних заземлювачів, у будь-яку пору року не повинен перевищувати 5, 10 і 20 Ом відповідно для лінійних напруг 660, 380 і 220 В джерела трифазного струму або 380, 220 і 127 В джерела однофазного струму. Опір кожного з повторних заземлювачів має бути не більше ніж 15, 30 і 60 Ом відповідно для тієї самої напруги (див. також ПУЕ 1.7.96). Згідно ПУЕ 1.8.169 для вимірювання опору розрядників і обмежувачів перенапруг, значення опору розрядників і ОПН для класів напруги до 3 кВ повинне бути не менше ніж 1000 МОм. Згідно ПУЕ 2.1.80 електроустановки

треба захищати від атмосферних перенапруг, які передаються системою розподілу електроенергії, і комутаційних перенапруг. Вимогу щодо захисту від комутаційних перенапруг, як правило, виконують, якщо електроустановка є захищеною від атмосферних перенапруг. Прогнозовані значення та інтенсивність атмосферних перенапруг на вводі електроустановки і розміщення та характеристики засобів захисту від перенапруг мають забезпечувати прийнятні ступені ризику погіршення безпеки людей, збереження матеріальних цінностей, неперервності надання послуг. Захист від перенапруг, які виникають у разі прямих ударів блискавки і ударів блискавки поряд з електроустановкою, треба виконувати також відповідно до інших нормативних вимог. Стійкість використовуваного обладнання до імпульсних перенапруг має відповідати вимогам табл. 2.1.17 ПУЕ та 2.1.82. Якщо електроустановка живиться від мережі, яку повністю прокладено в землі, а значення стійкості обладнання до імпульсних перенапруг відповідають вимогам табл. 2.1.17 ПУЕ, то спеціальний захист від атмосферних перенапруг виконувати не потрібно (кабель з ізолюваними жилами і заземленою металевою оболонкою, підвішений на опорах, можна розглядати як кабель, прокладений у землі). За умови, що електроустановка живиться повітряною лінією або включає в себе повітряну лінію, а річна кількість грозових годин становить понад 25, потрібно виконувати спеціальний захист від атмосферних перенапруг із захисним рівнем категорії II (табл. 2.1.17). Також в даному стандарті нормовано захист інтерфейсів комунікаційних модулів при обладнанні захистом від перенапруг відносно землі та сигнальних ліній, що мають бути захищені від перенапруг.

В статті [9] зазначається, що особливо небезпечною є система TN-C-S вказана в ПУЕ для сільських побутових електроспоживачів з повітряними живильними лініями 380/220 В, оскільки сільські ПЛ-0,38 кВ відрізняються своєю великою довжиною і розгалуженістю. При обриві PEN-провідника (що в сільських електромережах, при їхній великій розгалуженості, має високу імовірність) на всіх металевих корпусах електроприймачів, приєднаних до захисного РЕ-провідника (тобто включених в євророзетки), з'являється смертельно небезпечний потенціал фази.

Стандарти захисту від імпульсної напруги для пристроїв до 1000 В - це нормативні документи, які встановлюють вимоги до проектування, виготовлення, встановлення, експлуатації та технічного обслуговування пристроїв захисту від імпульсної напруги, які призначені для захисту електромережі та електроустаткування від різних

скачків напруги, які можуть бути викликані, наприклад, ударом блискавки, коротким замиканням або перевантаженням. Стандарти захисту від імпульсної напруги для пристроїв до 1000 В стосуються різних видів пристроїв захисту, які можуть бути класифіковані за різними критеріями, такими як клас, тип, номінальна напруга, номінальний струм тощо.

Один з основних стандартів захисту від імпульсної напруги - це ДСТУ EN 61643-11:2015 (Пристрої захисту від перенапруги для низьковольтних систем живлення. Частина 11. Вимоги до продукції та методи випробувань). Цей стандарт визначає загальні та специфічні вимоги до пристроїв захисту від перенапруги для низьковольтних систем живлення (SPD), які поглинають імпульсні струми та напруги. Цей стандарт також описує методи випробувань для перевірки виконання цих вимог. За цим стандартом, пристрої захисту поділяються на три класи: I, II та III. Клас I - це прилади захисту від прямих ударів блискавки, які поглинають дуже великі імпульсні струми. Клас II - це прилади захисту від непрямих ударів блискавки, які поглинають помірні імпульсні струми. Клас III - це прилади захисту від залишкових перенапруг, які поглинають невеликі імпульсні струми. За типом захисту, прилади можуть бути L (захист лінії живлення), S (захист сигнальної лінії) або C (захист комбінований). Тип захисту визначається за номенклатурою приладу, наприклад, SPD1-L-230-10 означає, що це прилад захисту класу I для лінії живлення з номінальною напругою 230 В та номінальним розрядним струмом 10 кА. Для кожного класу приладу захисту передбачені різні методи випробування, які симулюють реальні умови експлуатації. Для класу I використовуються імпульси струму з формою хвилі 10/350 мкс, які моделюють прямий удар блискавки. Для класу II використовуються імпульси струму з формою хвилі 8/20 мкс, які моделюють непрямий удар блискавки. Для класу III використовуються комбіновані імпульси напруги з формою хвилі 1,2/50 мкс та струму з формою хвилі 8/20 мкс, які моделюють залишковий ефект перенапруг. Для кожного методу випробування визначаються такі параметри: номінальна робоча напруга ( $U_n$ ), номінальний розрядний струм ( $I_n$ ), максимальний розрядний струм ( $I_{max}$ ), імпульсний струм ( $I_{imp}$ ), розрядний струм ( $I_L$ ), захисний розрядний напруго-розподільник ( $U_p$ ), час спрацювання ( $t_a$ ) тощо.

В [10] зазначено, що при випробуванні SPD використовують іскрові проміжки між лініями живлення і землею зі значною здатністю гасити струм що робить їх застосовними в електромережах з перспективою витримування струму короткого замикання в десятки кА.

Основна інформація [11] про класи ударних випробувань ПЗІП:

ПЗІП типу 1 (раніше клас В) призначені для застосування на межі зон LPZ 0A / 1, наприклад, в головному розподільному щиті як перший рівень захисту від ІП. Їх завданням є обмеження ІП високих енергій і недопущення проникнення до обладнання всередині будівлі. ПЗІП типу 1 призначені для захисту внутрішнього обладнання об'єкта від струму блискавки, який може виникнути в разі безпосереднього удару в зовнішні енергетичні лінії або систему блискавкозахисту об'єкта. Випробовується імпульсним струмом  $i_{imp}$ , який імітує імпульс струму блискавки формою 10/350 мкс. Типовий рівень напруги захисту обмежувачів типу 1 не перевищує величини 4000 В.

ПЗІП типу 2 (раніше клас С) застосовуються в якості другого ступеня захисту. Їх завданням є захист від індукованих перенапруг, а також ослаблення залишкових перенапруг після ПЗІП типу 1. Вони призначені для застосування всередині зон LPZ 1, а також на межах зон LPZ 0B/1 за умови, що всі зовнішні лінії знаходяться в захисній зоні LPZ 0B. Для створення ПЗІП типу 2 найчастіше використовуються варистори - елементи на основі полікристалічного напівпровідника, створені з використанням оксиду цинку. Випробування пристрою проводяться імпульсами струму формою 8/20 мкс. Характеризуються рівнем захисту, відповідним I чи II категорії стійкості (відповідно 2,5 kV або 1,5 kV).

ПЗІП типу 3 (раніше клас D) забезпечують захист обладнання від наслідків наближених та віддалених атмосферних розрядів (кілька сотень метрів від об'єкта), які індукують ІП у лініях живлення і обладнанні всередині об'єктів, а також від комутаційних перенапруг, які виникають в електропроводці всередині об'єкта. Вони призначені для застосування в безпосередній близькості від обладнання. Піддаються комбінованим випробуванням: імпульсами формою 1,2/50 мкс і 8/20 мкс. З огляду на вищевикладене можна прийняти рішення про необхідність подальших досліджень для ПЗІП типу 1, що позначається T1 (T2) в ІЕС 61643.

Відтворення імітаційної моделі явища перенапруги займає багато часу, оскільки на перенапругу впливають численні параметри. В цій статті [12], наприклад представлена модель, що дозволяє оцінити максимальну перенапругу в точці переходу кабелю на повітряну лінію в разі пошкодження екрану, з обмежувачем перенапруги і без нього, а також енергію, що поглинається обмежувачем перенапруги. Для прийняття рішення стосовно можливості адаптації даної моделі для визначення додаткових функцій пристроїв захисту

необхідно провести окремі дослідження по можливостям та перевагам пропонованої моделі для напрямку даної роботи.

Серед проаналізованих видів [13] розрядів, що проходять через провідники низьковольтних мереж внаслідок прямих ударів блискавки; перенапруги від ударів блискавки в мережах середньої напруги; розряди, які досягають точок ударів поблизу мереж і, отже, індукуються в низьковольтних системах; ті з них, які досягають систем блискавкозахисту (БЗС) і повертаються в системи головною заземлювальною шиною (ГЗШ), а також розряди, індуковані в низьковольтних системах ударами блискавки через провідники БЗС визначені найпоширенішими. Відповідно для подальших досліджень необхідно враховувати цей напрямок як один з найважливіших.

В [14] описано, необхідність встановлювати пристроїв захисту від імпульсних перенапруг (ПЗІП), при перетинанні меж зон захисту струмопровідними комунікаціями, що в свою чергу забезпечує захист електричних мереж від аварійного режиму роботи – імпульсних перенапруг та здійснює відведення у землю імпульсних струмів блискавки.

В [15] вказано, що однією з основних причин виникнення к.з. у мережі напругою 380/220 В є також перенапруги грозового характеру.

Згідно [16] вказано, що в разі неправильного монтажу та експлуатації апаратів захисту, вони самі можуть спричинювати пожежі або вибухи внаслідок того, що розрив електричної мережі під час роботи в цих апаратах супроводжується іскроутворенням і появою електричної дуги.

Для об'єктів критичної інфраструктури, на основі даної моделі, [17], що дозволяла прогнозувати ймовірність займання шахтної кабельної мережі від струмів короткого замикання, з врахуванням продольного резервування максимального струмового захисту, можна провести додаткове дослідження про вплив внутрішніх перенапруг на ймовірність погіршення роботи цієї мережі та вплив на безпеку та ймовірність пожежі. Це дозволить врахувати в розробці більш досконалої математичної моделі, додаткові параметри пристроїв захисту від перенапруг, що загалом вплине на покращення захисту таких об'єктів та, в загальному на вугільну промисловість та роботу критичної інфраструктури.

Стосовно необхідності покращення функцій захисту, також слід приділити увагу релігійним спорудам, більшість з яких дерев'яні, як наприклад згадано в цій статті [18], де вказано, що найбільшою небезпекою для прикладу будівлі є те, що споруда дерев'яна і містить багато електроінсталяцій, тобто існує висока загроза короткого замикання.

Відповідно також збільшується важливість підсилення захисту при перенапруженнях, в тому числі імпульсних.

В [19] вказано, що заходи протипожежної профілактики є на порядок дешевшими, ніж засоби пожежогасіння та наслідки пожеж, разом взяті. Тому варто особливу увагу звертати на вдосконалення та розвиток системи профілактики електроустановок з метою запобігання пожежам, а також на захист людей від ураження електричним струмом, ніж витратити ресурси на засоби та розробку технологій гасіння пожеж в цих же електроустановках

Розвиток цифровізації, безпеки та хмарних технологій відзначається постійним розвитком та інноваціями, спрямованими на підвищення ефективності та надійності захисту електричних мереж.

Нижче описані деякі сучасні тенденції в області апаратів захисту від перенапруг як складової апаратів захисту низьковольтних мереж у системі пожежної безпеки електроінсталяцій

Однією з головних тенденцій є розвиток інтелектуальних систем захисту, які здатні не лише реагувати на потенційно небезпечні ситуації, а й передбачати їх виникнення за допомогою аналізу даних та штучного інтелекту. Це дозволяє покращити реакцію системи на можливі загрози та забезпечити більш точний та ефективний захист.

Ще однією важливою тенденцією є використання захисту на рівні мережі, що дозволяє забезпечити захист не лише окремих пристроїв, але й всієї електричної мережі в цілому. Це досягається за допомогою централізованих систем управління, які координують роботу апаратів захисту та забезпечують їх взаємодію. Прикладом цього може слугувати комплексний проект мережі пристроїв перенапруг на етапі розробки електричного проекту в цілому та ув'язка окремих пристроїв із системою контролю будинку.

Бездротові системи захисту набувають все більшої популярності завдяки своїй простоті у встановленні та експлуатації. Вони дозволяють забезпечити захист електричної мережі без необхідності прокладання дротів та кабелів, що полегшує їх використання в різних умовах. Особливо це актуально для діючих підприємств, або громадських об'єктів, де немає потреби в реконструкції і необхідно застосовувати рішення захисту мереж в системі забезпечення пожежної безпеки електроінсталяцій із мінімальною перервою у виробництві чи функціонуванні.

Як свідчить [20], широко використовується бездротове обладнання для організації охорони музеїв. Крім того, такі системи виявляються особливо ефективними в таких умовах, коли

захищаються об'єкти розкидані на значній відстані один від одного, як, наприклад, у великих парках з великою кількістю історичних будівель. Для подальшого розвитку таких систем необхідно забезпечити відповідний рівень захисту, в тому числі від перенапруг

Розглянемо далі, ще декілька сучасних напрямків розвитку в області апаратів захисту, спрямовані на покращення їх ефективності та надійності.

Зокрема, інтеграція систем захисту від перенапруг з системами "розумних будинків" стає більш актуальною. Це дозволяє автоматизувати контроль за електричною мережею та надавати користувачам додаткові можливості управління та моніторингу захисту.

Розумні розрядники та пристрої захисту перенапруг стають все більш поширеними завдяки своїм унікальним функціям та можливостям. Вони здатні автоматично реагувати на зміни у рівнях напруги та ефективно розсіювати перенапруги, забезпечуючи надійний захист обладнання.

Застосування аналітики даних для постійного моніторингу роботи апаратів захисту дозволяє виявляти потенційні проблеми та уразливості в електричній мережі заздалегідь, що дозволяє приймати своєчасні заходи для їх усунення.

На основі отриманих даних видно, що досягнення зниження показників пожежної безпеки в електропроводках кожного виду можливе, в залежності від запровадження додаткових функцій пристроїв захисту та загалом врахування даних функцій у системах пожежної безпеки на етапах проектування та монтажу.

Сучасні тенденції в області апаратів захисту від перенапруг демонструють постійний розвиток та вдосконалення цієї галузі. Застосування новітніх технологій та інновацій дозволить забезпечити надійний та ефективний захист електричних мереж у різних умовах експлуатації.

## Висновки

Апарати захисту низьковольтних мереж відіграють важливу роль в системі забезпечення пожежної безпеки електроінсталяцій. Правильний вибір, встановлення та регулярне обслуговування цих пристроїв суттєво знижують ризики загоряння та сприяють загальній безпеці об'єкта.

Покращення функцій апаратів захисту може допомогти виявленню несправностей та критичних режимів роботи й вжити заходів для запобігання подальшому розвитку ситуації, що позитивно вплине на показники надійності.

В зв'язку із стрімким розвитком складності електричних споживачів та вимог до їх захисту

необхідно провести подальші дослідження по впровадженню нових функцій апаратів захисту стосовно збільшення їх надійності, точності та безпеки.

Подяка. Автори висловлюють подяку Національному фонду досліджень України, проект № 0123U103529 (2022.01/0009) «Оцінка та прогнозування загроз відновленню та сталому функціонуванню об'єктів критичної інфраструктури» з конкурсу «Наука для відновлення України у воєнний та післявоєнний періоди» за підтримку в проведенні дослідження.

### Література

1. Campos do Prado, J., Qiao, W., Qu, L., Aguero J. (2019). *The Next-Generation Retail Electricity Market in the Context of Distributed Energy Resources: Vision and Integrating Framework*. URL: [https://www.researchgate.net/publication/330890414\\_The\\_nextgeneration\\_Retail\\_Electricity\\_Market\\_in\\_the\\_Context\\_of\\_Distributed\\_Energy\\_Resources\\_Vision\\_and\\_Integrating\\_Framework](https://www.researchgate.net/publication/330890414_The_nextgeneration_Retail_Electricity_Market_in_the_Context_of_Distributed_Energy_Resources_Vision_and_Integrating_Framework)
2. Rehak, D., Markuci, J., Hromada, M., Barcova K. (2016). Quantitative evaluation of the synergistic effects of failures in a critical infrastructure system. Elsevier <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2016.06.002>
3. Шведов В., Рудик Ю., Куць В. Урахування воєнних ризиків втрат якості електропостачання об'єктів критичної інфраструктури / Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи: тези доповідей VI Міжнародної науково-практичної конференції, 16–17 листопада 2023 року Режим доступу: <https://science.lpnu.ua/qm-2023/proceedings> (англ.); <https://science.lpnu.ua/uk/qm-2023/tezy-dopovidey> (укр.), С.296-298 ISBN 978-966-870-8
4. Шведов В., Рудик Ю., Куць В. Порівняльний аналіз проєктів блокчейн-грід електропостачання об'єктів критичної інфраструктури / Тези доповідей науково-практичну конференцію «Використання блокчейн технологій в енергетиці – 2023» С.296-298 ISBN 978-966-870-8
5. Волощук Л.О. Економічна безпека та інноваційний розвиток промислового підприємства: сутність та взаємозв'язок як об'єктів управління / Економіка: реалії часу №6(16).- 2014.- Одеський національний політехнічний університет, Одеса, Україна. <http://dspace.opu.ua/jspui/bitstream/123456789/1821/1/217-223.pdf>
6. DiBona, Forcina, Falcone, Silvestri (2020) *Critical Risks Method (CRM): A New Safety. Allocation Approach for a Critical Infrastructure*. Department of Civil and Mechanical Engineering, University of Cassino and Southern Lazio, 03043 Cassino FR, Italy; [falcone@unicas.it](mailto:falcone@unicas.it). Department of Engineering, University of Naples "Parthenope", 80100 Naples, Italy; [antonio.forcina@uniparthenope.it](mailto:antonio.forcina@uniparthenope.it)
7. Рудик Ю.І., Столярчук П. Г. Оцінка пожежної небезпеки зростання перехідного опору контактних з'єднань електроустановок / Вісник Національного університету "Львівська політехніка".- 2010. С. 101–107.
8. Rock, M. (2021). *Protection of Selected Cases: PV Systems, Wind Turbines and Railway Systems*. In: Gomes, C. (eds) *Lightning. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol 780. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-3440-6\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-16-3440-6_7)
9. Жарков В.Я., Мунтян В.О., Кізім І. В. Проблема захисту побутових електроспоживачів в сучасних мережах *tn-s* та *tn-c-s* / –Наукові праці ДонНТУ - Електротехніка і енергетика. – 2008. - випуск 8 (140) .- С. 183-186
10. Gektidis K. M., Ioannidis A. I., Tsovilis T. E. (2024). Response time of surge protective devices employing triggered spark gap technology. *IEEE Transactions on Industry Applications* 60(3):4855 – 4863. Citation information: DOI 10.1109/TIA.2024.3370528
11. Захист від імпульсних перенапруг в системах електроживлення: досвід Європи. - 2020. WATSON-ENERGO®. URL: <https://watson-energo.ua/blog/zaschita-ot-impulsnyh-perenapryazhenij-v-sistemah-elektropitaniya-opyt-evropy>
12. Faria da Silva, F., Pedersen, K (2022). Lightning surges in hybrid cable-overhead lines: Part I—voltage estimation for shielding failure. *Electr Eng* 104, 3281–3294. <https://doi.org/10.1007/s00202-022-01538-z>
13. Sueta, H.E., Santos, S.R., Altafim, R.A.C. (2021). Protection of Low-Voltage Equipment and Systems. In: Gomes, C. (eds) *Lightning. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol 780. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-3440-6\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-16-3440-6_5)
14. Кулаков О. Дослідження технології захисту електричних мереж будинків від дії блискавки залежно від параметрів блискавки Та електричної мережі / Національний університет цивільного захисту України. - 2021
15. Кравець І.П. Вимоги пожежної безпеки до електричних мереж в Сільській місцевості Львівський державний університет безпеки життєдіяльності.- 2022
16. Кравець І.П. Особливості застосування автоматичних пристроїв для протипожежного захисту електричних мереж / Львівський державний університет безпеки життєдіяльності.- 2022
17. Чурсінова А.О. Прогнозування надійності засобів захисту та термінів їхньої профілактики для запобігання займання шахтних кабельних мереж/ Донецький державний технічний університет
18. Stanislavchuk O. Сучасні небезпеки для життя віруючих / *Zeszyty Naukowe sgsp* 2020, Nr 73/1/2020 Львівський державний університет безпеки життєдіяльності. DOI: 10.5604/01.3001.0014.0776
19. Андрійчук Д.О. Кравець І.П., Захисні властивості пристрою захисного вимкнення / *Пожарна та техногенна безпека*. Львівський державний університет безпеки життєдіяльності.- 2020
20. Прокопенко О.В., Куценко С.В., Аналіз застосування в протипожежних системах бездротового зв'язку / Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України.- 2014

### References

1. Campos do Prado, J., Qiao, W., Qu, L., Aguero, J. (2019). *The Next-Generation Retail Electricity Market in the Context of Distributed Energy Resources: Vision and Integrating*

- Framework. URL: [https://www.researchgate.net/publication/330890414\\_The\\_nextgeneration\\_Retail\\_Electricity\\_Market\\_in\\_the\\_Context\\_of\\_Distributed\\_Energy\\_Resources\\_Vision\\_and\\_Integrating\\_Framework](https://www.researchgate.net/publication/330890414_The_nextgeneration_Retail_Electricity_Market_in_the_Context_of_Distributed_Energy_Resources_Vision_and_Integrating_Framework)
2. Rehak, D., Markuci, J., Hromada, M., Barcova K. (2016). Quantitative evaluation of the synergistic effects of failures in a critical infrastructure system. Elsevier <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2016.06.002>
  3. Shvedov V., Rudyk Yu., Kuts V. (2023). Taking into account military risks of loss of quality of power supply of critical infrastructure objects / Quality management in education and industry: experience, problems and prospects: abstracts of reports of the VI International Scientific and Practical Conference, 16–17 November 2023 Access mode: <https://science.lpnu.ua/qm-2023/proceedings> (English); <https://science.lpnu.ua/uk/qm-2023/tezy-dopovidey> (Ukrainian), pp. 296-298 ISBN 978-966-870-8
  4. Shvedov V., Rudyk Yu., Kuts V. (2023). Comparative analysis of blockchain-grid projects for power supply of critical infrastructure objects / Abstracts of reports at the scientific and practical conference "Using blockchain technologies in energy - 2023" P.296-298 ISBN 978-966 - 870-8
  5. Voloshchuk L.O. (2014). Economic security and innovative development of the industrial enterprise: essence and relationship as objects of management / economy: realities of time #6(16).- Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine. <http://dspace.opu.ua/jspui/bitstream/123456789/1821/1/217-223.pdf>
  6. DiBona, Forcina, Falcone, Silvestri (2020) Critical Risks Method (CRM): A New Safety Allocation Approach for a Critical Infrastructure Department of Civil and Mechanical Engineering, University of Cassino and Southern Lazio, 03043 Cassino FR, Italy; [falcone@unicas.it](mailto:falcone@unicas.it) Department of Engineering, University of Naples "Parthenope", 80100 Naples, Italy; [antonio.forcina@uniparthenope.it](mailto:antonio.forcina@uniparthenope.it)
  7. Rudyk Y.I., Stolyarchuk P.G. (2010). Assessment of the fire hazard of the increase in the transient resistance of contact connections of electrical installations / Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". pp. 101–107.
  8. Rock, M. (2021). Protection of Selected Cases: PV Systems, Wind Turbines and Railway Systems. In: Gomes, C. (eds) Lightning. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 780. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-3440-6\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-16-3440-6_7)
  9. Zharkov V.Ya., Muntyan V.O., Kizim I.V. (2008). The problem of protection of household electricity consumers in modern tn-s and tn-c-s networks / –Research papers of DonNTU - Electrical Engineering and Energy. - issue 8 (140) .-- C. 183-186
  10. Gektidis K. M., Ioannidis A. I., Tsovilis T. E. (2024). Response time of surge protective devices employing triggered spark gap technology. IEEE Transactions on Industry Applications 60(3):4855 – 4863. Citation information: DOI 10.1109/TIA.2024.3370528
  11. Protection against impulse overvoltages in power supply systems: European experience (2020). WATSON-ENERGO®. URL: <https://watson-energo.ua/blog/zaschita-ot-impulsnyh-perenapryazhenij-v-sistemah-elektropitaniya-opyt-evropy>
  12. Faria da Silva, F., Pedersen, K (2022). Lightning surges in hybrid cable-overhead lines: Part I—voltage estimation for shielding failure. Electr Eng 104, 3281–3294. <https://doi.org/10.1007/s00202-022-01538-z>
  13. Sueta, H.E., Santos, S.R., Altafim, R.A.C. (2021). Protection of Low-Voltage Equipment and Systems. In: Gomes, C. (eds) Lightning. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 780. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-3440-6\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-16-3440-6_5)
  14. Kulakov O. (2021). Research of the protection technology of electrical networks of buildings. Lightning action depends on lightning parameters. And electrical network / National University of Civil Defense of Ukraine.
  15. Kravets I.P. (2022). Fire safety requirements for electrical networks v Rural location / Lviv State University of Life Safety.
  16. Kravets I.P. (2022). Features of the application of automatic devices For fire protection of electrical networks / Lviv State University of Life Safety.
  17. Chursinova A.O. (2002). Prediction of the reliability of protection measures and terms of their prevention to prevent ignition of mine cable networks/ Donetsk State Technical University
  18. Stanislavchuk O. (2020). Modern dangers for the lives of believers / Zeszyty Naukowe sgsp 2020, Nr 73/1/2020 Lviv State University of Life Safety DOI: 10.5604/01.3001.0014.0776
  19. Andriychuk D.O. (2020). I.P. Kravets, Protective properties of the protective shutdown device / fire and technological safety. Lviv State University of Life Safety.
  20. Prokopenko O.V., Kutsenko C.V. (2014). Analysis of the application of wireless communication in fire-fighting systems / Cherkasy Institute of Fire Safety named after the Heroes of Chernobyl, NUCS of Ukraine

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Р.І. Байцар, Національний університет «Львівська політехніка», Україна.

**Автор:** ШВЕДОВ Володимир Олександрович  
Аспірант  
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна  
E-mail – [ProjectsLab01@gmail.com](mailto:ProjectsLab01@gmail.com)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6355-0842>

**Автор:** РУДИК Юрій Іванович  
доктор технічних наук, доцент, професор кафедри ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності  
E-mail – [iyur@i.ua](mailto:iyur@i.ua)  
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7372-5876>

## **FUNCTIONS OF PROTECTION DEVICES IN THE FIRE SAFETY SYSTEM OF ELECTRICAL INSTALLATIONS**

V. Shvedov, Yu. Rudyk

Lviv State University of Life Safety in Lviv, Ukraine

*In this article, the goal of the research was achieved regarding the definition of regulatory requirements for fire safety of protection devices in 0.4 kV electrical wiring. This article describes the main functions of protection devices that affect the fire safety of electrical installations, identifies the possibilities of strengthening the functions of protection devices, and substantiates the approach to the formation of further research for the introduction of new functions of protection devices. The article describes the study of the development of automation of processes and the saturation of electronic and electrical equipment in industry and everyday life. Because of this, there is a high degree of increase in the risk of the emergency mode of operation of electrical conductors and the occurrence of burning and fire, which may lead to a rise in the number of accidents in the future. Analysis of Ukrainian and foreign publications shows that the direction of development of power supply systems is infrastructure: p2p market for households, electric car charging networks, demand response services, and the possibility of participation in frequency support in the network and operation in the virtual power plant mode.*

*This will lead to a further increase in requirements for reliability, safety, and protection of power supply, in particular, an increase in the functions of protection devices. The development of digitalization, security, and cloud technologies is marked by constant growth and innovation that are aimed at increasing the efficiency and reliability of the protection of electrical networks. This article also describes some modern trends in surge protection devices as a component of low-voltage network protection devices in the fire safety system of electrical installations. Devices for the protection of low-voltage networks play an important role in ensuring the fire safety of electrical installations. Correct selection, installation, and regular maintenance of these devices significantly reduce fire risks and contribute to the facility's overall safety. Due to the rapid development of the complexity of electrical consumers and requirements for their protection, it is necessary to conduct further research on the introduction of new functions of protection devices to increase their reliability, accuracy, and safety.*

**Keywords:** protection devices, fire safety systems, electrical installations, surge arresters, overvoltages, impulse surge protection devices.