

*О. В. Кулаков, к.т.н., доцент, проф. каф., НУЦЗУ,  
А. М. Катунін, к.т.н., с.н.с., доц. каф., НУЦЗУ,  
Є. В. Денєв, курсант, НУЦЗУ*

## **ОСОБЛИВОСТІ ЗАХИСТУ ВІД ВТОРИННИХ ДІЙ БЛИСКАВКИ НИЗЬКОВОЛЬТНИХ ПРИЙМАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**

(представлено д. філос. Сцакал Б.)

З метою забезпечення пожежної безпеки об'єктів визначено особливості захисту низьковольтних приймачів електричної енергії від вторинних дій блискавки залежно від параметрів блискавки та електричної мережі. Показано, що основну частину струму блискавки пропускають силові та інформаційні мережі. Отримано узагальнену залежність сили струму в окремому провіднику електричної мережі від кількості провідних комунікацій для різних величин пікових струмів блискавки. Показано, що у електричних мережах з типом заземлення TN-S оптимальним є підключення однополюсних пристроїв захисту від імпульсних перенапруг окремо до кожного провіднику електричної мережі.

**Ключові слова:** вторинні дії блискавки, приймач електричної енергії, електрична мережа, система блискавкозахисту.

**Постановка проблеми.** Відповідно до вимог [1] запобігання пожежі повинно досягатися запобіганням утворення горючого середовища та/або запобіганням виникнення в горючому середовищі (або внесення до нього) джерел запалювання. Запобігання утворення в горючому середовищі джерел запалювання має досягатися, зокрема, улаштуванням блискавкозахисту будівель, споруд і обладнання.

Відповідно до вимог [2–5] проект блискавкозахисту повинен містити проект захисту від прямих влучень блискавки (зовнішня система блискавкозахисту (СБЗ)) та проект захисту від вторинних дій блискавки (внутрішня СБЗ).

За даними [6] кількість пожеж, обумовлених розрядами блискавки, є відносно незначною (внаслідок наявності блискавкозахисних пристроїв на об'єктах, як це вимагалось за правилами, діючими на момент їх будівництва). Але практично кожна пожежа від влучення блискавки призводить до значних втрат. Тому проблема забезпечення блискавкозахисту об'єктів, зокрема захист від вторинних дій блискавки, залишається актуальною.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Згідно [7] «приймач електричної енергії (електроприймач) – апарат, агрегат, механізм, призначений для перетворення електричної енергії в інший вид енергії». Живлення електроприймачів електричною енергією здійснюється за допомогою електричних мереж. Захист електроприймачів від влучення блискавки забезпечується внутрішньою СБЗ [5]. Виділяють зони захисту від вторинних дій блискавки: LPZ 0<sub>A</sub>, LPZ 0<sub>B</sub>, LPZ 1, LPZ 2. Внутрішня СБЗ здійснюється шляхом екранування на межах зон захисту. При перетинанні меж зон захи-

сту електричними комунікаціями встановлюються пристрої захисту від імпульсних перенапруг (ПЗП) – електричні апарати, що забезпечують захист електричних мереж від аварійного режиму роботи – імпульсних перенапруг та здійснюють відведення імпульсних струмів блискавки.

Порядок вибору та застосування ПЗП регламентується [5, 8–9]. Залежно від типу хвилі (класу випробовування згідно [8]) ПЗП поділяються на три класи: клас I – для хвилі 10/350мкс (відповідає прямому влученню блискавки), як правило встановлюється за можливості прямого влучення блискавки, наприклад, при наявності повітряної лінії електропередачі; клас II – для хвилі 8/20мкс (відповідає вторинним діям блискавки та технологічним перенапругам), як правило встановлюється після ПЗП класу I при наявності чутливого електронного обладнання, або при кабельному вводі; клас III – для комбінованої хвилі.

Практичні рекомендації по вибору ПЗП для внутрішньої СБЗ приведено, зокрема, в роботах [10, 11]. ПЗП класу I встановлюється на ввіді електричної лінії в будинок на межі зони LPZ 1 (як правило, у головному розподільному щиті). Якщо вхідні кабельні лінії розташовано всередині зони класу LPZ 0<sub>B</sub> (наприклад, є підземними) на ввіді електричної лінії в будинок на межі зони LPZ 1 відразу встановлюється ПЗП класу II. У загальному випадку ПЗП класу II встановлюється поблизу захищеного обладнання на межі зон LPZ 2 та більш високих (як правило, у вторинних розподільних щитах). ПЗП класу III встановлюється поблизу захищеного обладнання якщо вхідні кабельні лінії розташовано всередині зони класу LPZ 0<sub>B</sub> та коли імпульси струму, викликані прямими влученнями блискавки та влученнями блискавки в кабельну лінію вже відведені.

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою роботи є дослідження особливостей захисту низьковольтних приймачів електричної енергії від вторинних дій блискавки, обумовлених параметрами блискавки та електричної мережі, для забезпечення пожежної безпеки об'єктів.

Згідно додатку I до [9] за наявності зовнішньої СБЗ припускається приймати, що 50 % загального струму блискавки  $I$  відводиться у землю через систему земляного закінчення зовнішньої СБЗ. Решта 50% загального струму блискавки  $I$  розподіляється між лініями обслуговуючих систем будинку, наприклад, зовнішні провідні частини, силові електричні та комутаційні лінії тощо:

$$I_i = \frac{0,5 \cdot I}{n}, \quad (1)$$

де  $I$  – загальний струм блискавки;  $I_i$  – сила струму в  $i$ -той системі;  $n$  – кількість наявних систем.

При застосуванні однополюсного ПЗП для кожного провідника неекранованого кабелю  $i$ -ї системи обирається ПЗП, у якого

$$I_v \geq \frac{I_i}{m}, \quad (2)$$

де  $I_v$  – сила струму в окремому провіднику;  $m$  – кількість провідників в системі.

В екранованому кабелі екран на обох кінцях з'єднується з землею безпосередньо, або через ПЗІП. У цьому випадку 50 % розрядного струму тече по екрану, решта – по внутрішнім провідникам.

Згідно [2] для I рівня блискавкозахисту (РБЗ) піковою вважається сила струму  $I=200$  кА (заряд імпульсу  $Q_{\text{SHORT}}=100$  Кл), для II РБЗ –  $I=150$  кА ( $Q_{\text{SHORT}}=75$  Кл), для III та IV РБЗ –  $I=100$  кА ( $Q_{\text{SHORT}}=50$  Кл) відповідно.

Враховуючі, що 50 % загального струму блискавки  $I$  відводиться у землю через систему земляного закінчення зовнішньої СБЗ максимально можливі пікові значення сили струму через лінії обслуговуючих систем будинку не перевищуватиме для I РБЗ  $I_{0,5} = 100$  кА (заряд імпульсу  $Q_{\text{SHORT}}=50$  Кл), для II РБЗ –  $I_{0,5} = 75$  кА ( $Q_{\text{SHORT}}=37,5$  Кл), для III та IV РБЗ –  $I_{0,5} = 50$  кА ( $Q_{\text{SHORT}}=25$  Кл) відповідно.

В Україні існує 5 видів силових електричних мереж за типом заземлення: IT, TT, TN-C, TN-S, TN-C-S [12, 13]. Для житлових та громадських приміщень рекомендованою є електрична мережа з типом заземлення TN-S [13]. Виробництво та передавання електричної енергії здійснюється виключно за трифазною системою. Ввід електричної енергії у житлові та громадські приміщення з метою забезпечення електробезпеки здійснюється за однофазною системою.

Якщо припустити, що у будинок є тільки один трифазний ввід електричної мережі типу заземлення TN-S, то сила струму в окремому провіднику визначиться за формулою  $I_v \geq \frac{I_i}{m} = \frac{0,5 \cdot I}{n \cdot m} = \frac{0,5 \cdot I}{1 \cdot 5}$ . Відповідно, якщо припустити, що у будинок є тільки один однофазний ввід електричної мережі типу заземлення TN-S, то сила струму в окремому провіднику визначається за формулою  $I_v \geq \frac{I_i}{m} = \frac{0,5 \cdot I}{n \cdot m} = \frac{0,5 \cdot I}{1 \cdot 3}$ . Для електричних мереж типів заземлення TT, TN-C, TN-C-S при трифазному вводі  $m=4$ , при однофазному –  $m=2$ . Провідники електричної мережі типу заземлення IT є ізольованими від землі.

При визначенні  $I_v$  також має значення спосіб підключення ПЗІП. Оптимальним слід вважати підключенні однополюсних ПЗІП окремо до кожного провіднику мережі (L1, L2, L3, N). У цьому випадку сила струму  $I_v$  буде однаковою для кожного підключення (струм блискавки розподілиться симетрично). При інших способах підключення ПЗІП сила струму  $I_v$  для кожного підключення є різною, що ускладнює правильний вибір ПЗІП.

На практиці в будинок здійснюється ввід не тільки силових електричних мереж. Вита пара інформаційної мережі, як правило не нижче категорії 5e, містить 4 пари провідників (УТР) та один (ФТР) або більше екранів. Газопровідні та водопровідні мережі на сьогодні, як правило, виконуються з неструмопровідних матеріалів та в рахунок не приймаються. Таким чином, силові та інформаційні мережі пропускають основну частину струму блискавки.

На рис. 1 приведено залежність сили струму  $I_v$  в окремому провіднику від кількості провідних комунікацій  $n \cdot m$  для різних величин пікових струмів блискавки  $I$ , визначену за формулами (1), (2). Видно, що залежність сили струму  $I_v$  в окремому провіднику від кількості провідних комунікацій  $n \cdot m$  є гіперболічною для усіх величин пікових струмів блискавки  $I$ . Сили струму  $I_v$  за своєю величиною значно перевищують значення, максимально припустимі [7].

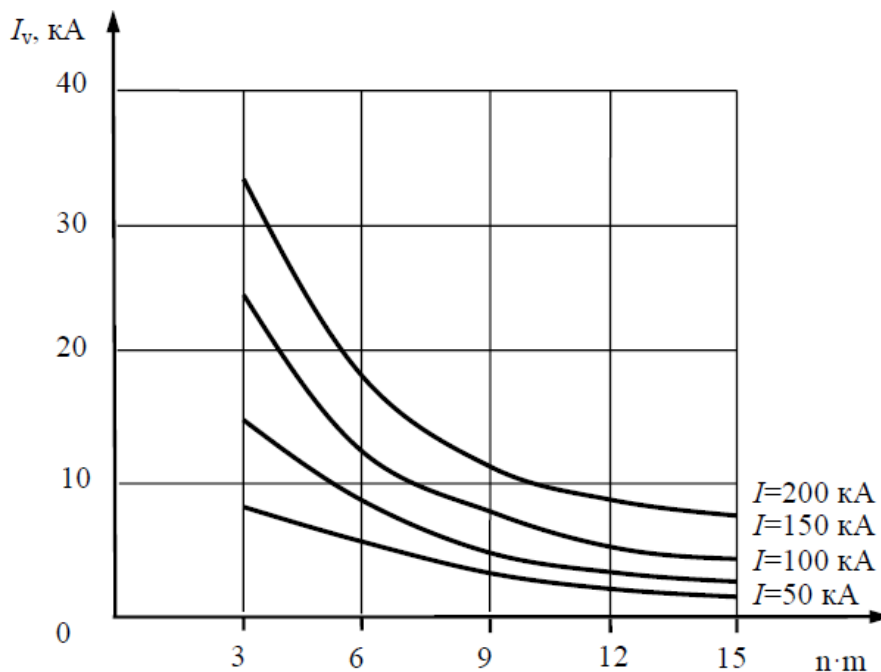


Рис. 1. Залежності сили струму  $I_v$  в окремому провіднику від кількості провідних комунікацій  $n \cdot m$  для різних величин пікових струмів блискавки  $I$

Електроприймачі житлових та громадських будівель зазвичай підключають до електричних мереж електричним кабелем марки ВВГ<sub>нгд</sub> з перерізом жил  $1,5 \text{ мм}^2$ . На рис. 2 для ілюстрації пожежної небезпеки приведена залежність температури нагріву жил провідників  $t_{\text{пр}}$  від сили струму  $I_v$  в усьому діапазоні його зміни, оцінена з використанням формули (Б.35) [1] (у припущенні, що кабель має довжину 50 м, час дії блискавки 1 сек). Температура  $t_{\text{пр}}$  вже при початковому значенні  $I_v$  (відповідає  $n \cdot m = 15$  та  $I = 50$  кА) перевищує температуру плавлення міді у 6 разів, з чого можна зробити висновок про майже миттєве руйнування кабелю та загоряння електроприймача у разі відсутності або неправильного вибору ПЗІП.

ПЗІП класу I забезпечує захист від перенапруг внаслідок прямих влучень блискавки безпосередньо в будинок або в кабельну лінію.

Для ПЗІП класу I основним параметром є імпульсний струм (impulse current)  $I_{\text{imp}}$  – пікове значення розрядного струму, що тече через ПЗІП. Рекомендовані значення  $I_{\text{imp}}$ : 1; 2; 5; 10; 12,5; 20; 25 кА, що відповідають зарядам імпульсу  $Q_{\text{SHORT}} = 0,5; 1; 2,5; 5; 6,25; 10; 12,5$  Кл (додаток D [5], [8]).

Для ПЗІП класу I пікове значення сили струму  $I_{\text{peak}}$  відповідає силі струму в окремому провіднику  $I_v$ . При виборі ПЗІП класу I  $I_{\text{imp}} > I_{\text{peak}}$ .

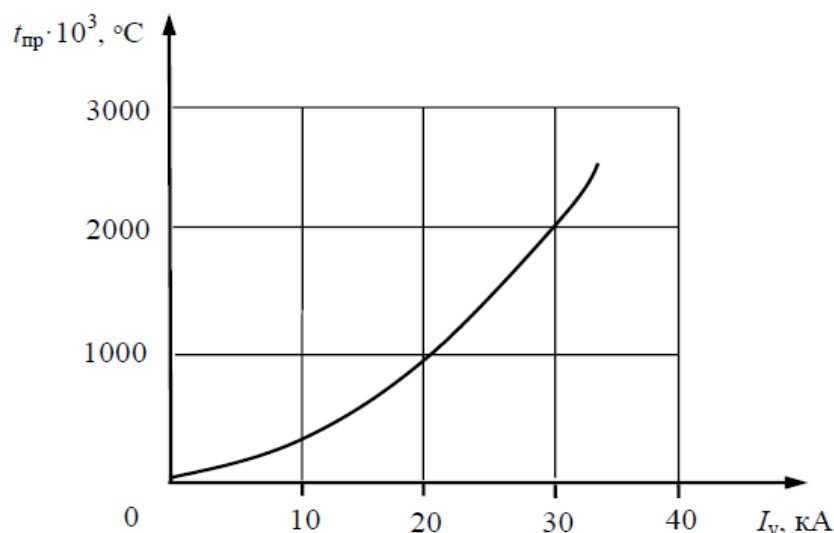


Рис. 2. Залежності температури  $t_{гр}$  нагріву жил перерізом  $1,5 \text{ мм}^2$  кабелю марки ВВГНГД від сили струму  $I_v$

У випадку, коли ПЗІП класу II розташовано після ПЗІП класу II, він забезпечує захист від перенапруг внаслідок індукційної дії. За відсутності екранування вважається, що для повітряних комунікацій та РБЗ I очікуваний струм  $I_v$  дорівнює 5 кА, для РБЗ II – 3,75 кА, для РБЗ III та РБЗ IV – 2,5 кА. За наявності екранування вважається, що для РБЗ I очікуваний струм  $I_v$  дорівнює 0,2 кА, для РБЗ II – 0,15 кА, для РБЗ III та РБЗ IV – 0,1 кА.

У випадку, коли ПЗІП класу II є ввідним, він забезпечує захист від перенапруг внаслідок непрямих влучень блискавки. Вважається, що для повітряних комунікацій та РБЗ I очікуваний струм  $I_v$  дорівнює 5 кА, для РБЗ II – 3,75 кА, для РБЗ III та РБЗ IV – 2,5 кА. Якщо комунікація є підземною, то очікуваний струм  $I_v$  є вдвічі меншим.

Для ПЗІП класу II основним параметром є номінальний розрядний струм (nominal discharge current)  $I_n$  – максимальне значення струму з формою хвилі 8/20, що тече через ПЗІП. Рекомендовані значення 0,05; 0,10; 0,25; 0,50; 1,00; 1,50; 2,00; 2,50; 3,00; 5,00; 10,00; 15,00 и 20,00 кА [8].

Для ПЗІП класу II максимальне значення сили струму  $I_{max}$  відповідає силі струму в окремому провіднику  $I_v$ . При виборі ПЗІП класу II  $I_n > I_{max}$ .

Для ПЗІП класу III основним параметром є напруга розімкнутого кола (open circuit voltage)  $U_{oc}$  – напруга розімкнутого кола генератору комбінованої хвилі в точці приєднання ПЗІП. Рекомендовані значення 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 10,0 и 20,0 кВ [8].

**Висновки.** З метою забезпечення пожежної безпеки об'єктів визначено особливості захисту низьковольтних приймачів електричної енергії від вторинних дій блискавки залежно від параметрів блискавки та електричної мережі.

Параметри блискавки та тип заземлення електричної мережі оказують суттєвий вплив на правильний вибір ПЗІП захисту електроприймачів. Газопровідні та водопровідні мережі на сьогодні виконуються з неструмопровідних матеріалів та не впливають на вибір ПЗІП. Таким

чином, силові та інформаційні мережі пропускають основну частину струму блискавки.

Для електричних мереж житлових та громадських приміщень рекомендованим є тип заземлення TN-S. Для таких мереж оптимальним слід вважати підключення однополюсних ПЗІП окремо до кожного провіднику мережі (L1, L2, L3, N). У цьому випадку сила струму  $I_v$  в окремому провіднику буде однаковою для кожного підключення. При інших способах підключення ПЗІП сила струму  $I_v$  в окремому провіднику для кожного підключення є різною, що ускладнює правильний вибір ПЗІП.

Побудовано узагальнену залежність сила струму  $I_v$  в окремому провіднику електричної мережі від кількості провідних комунікацій  $n \cdot m$  для різних величин пікових струмів блискавки  $I$ . Залежність сили струму  $I_v$  від кількості провідних комунікацій  $n \cdot m$  є гіперболічною для усіх величин пікових струмів блискавки  $I$ .

Відсутність або неправильний вибір ПЗІП в разі влучення блискавки призводить до майже миттєвого теплового руйнування кабелю та загоряння електроприймача.

## ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 8828: 2019. Пожежна безпека. Загальні положення. Київ, 2019. 151 с. (Національний стандарт України).
2. ДСТУ EN 62305-1: 2012 (EN 62305-1:2011, IDT). Захист від блискавки. Частина 1. Загальні принципи. (Національний стандарт України, прийнятий методом підтвердження).
3. ДСТУ EN 62305-2: 2012 (EN 62305-2:2010, IDT). Захист від блискавки. Частина 2. Керування ризиками. (Національний стандарт України, прийнятий методом підтвердження).
4. ДСТУ EN 62305-3: 2012 (EN 62305-3:2011, IDT). Захист від блискавки. Частина 3. Фізичні руйнування споруд та небезпека для життя людей. (Національний стандарт України, прийнятий методом підтвердження).
5. ДСТУ EN 62305-4: 2012 (EN 62305-4:2010, IDT). Захист від блискавки. Частина 4. Електричні та електронні системи, розташовані в будинках і спорудах. (Національний стандарт України, прийнятий методом підтвердження).
6. Статистика пожеж // Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту. URL: <https://idundcz.dsns.gov.ua/ua/Analitichni-materiali.html> (дата звернення: 08.10.2020).
7. Правила улаштування електроустановок. Київ, 2017. 617 с.
8. ДСТУ EN 61643-11: 2018 (EN 61643-11:2012, IDT; IEC 61643-11:2011, MOD). Пристрої захисту від імпульсних перенапруг низьковольтні. Частина 11. Пристрої захисту від імпульсних перенапруг, підключені до низьковольтних електромереж. Вимоги та методи випробування. (Національний стандарт України, прийнятий методом підтвердження).
9. ДСТУ CLC/TS 61643-12: 2015 (CLC/TS 61643-12:2009, IDT). Пристрої захисту від імпульсних перенапруг низьковольтні. Частина 12.

Пристрої захисту від імпульсних перенапруг, підключені до низьковольтних розподільчих систем. Принципи вибору та застосування. (Національний стандарт України, прийнятий методом підтвердження).

10. Кулаков О. В., Ликов А. М. Рекомендації до вибору пристроїв захисту електричних мереж від імпульсних перенапруг для внутрішньої системи блискавкозахисту // Матеріали науково-практичного семінару «Запобігання надзвичайним ситуаціям і їх ліквідація» (НУЦЗУ, м. Харків, 21 лютого 2019 року). С. 83–85. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/9072> (дата звернення: 08.10.2020).

11. Кулаков О. В. Алгоритм выбора устройств защиты электрических цепей от грозовых импульсных перенапряжений // Сборник тезисов и докладов X-ой Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» (Кокшетауский технический институт Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан 26-27 сентября 2019 года). С. 109–113. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/9822> (дата звернення: 08.10.2020).

12. IEC 60364-1: 2005. Electrical installations of buildings. Part 1. Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions. Fourth edition. Geneva, 2005. 93 p. (Standard by International Electrotechnical Commission).

13. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Київ, 2001. 117 с. (Нормативно-правовий акт з охорони праці України).

О. В. Кулаков, А. Н. Катунин, Е. В. Денев

**Особенности защиты от вторичных действий молнии низковольтных приемников электрической энергии**

Для обеспечения пожарной безопасности объектов выделены особенности защиты низковольтных электроприемников от вторичных действий молнии в зависимости от параметров молнии и электрической сети. Показано, что основная часть тока молнии пропускается силовыми и информационными сетями. Получена обобщенная зависимость силы тока в отдельном проводнике электрической сети от количества токопроводящих коммуникаций для различных значений пиковых токов молнии. Показано, что в электрических сетях с типом заземления TN-S оптимально подключение однополюсных устройств защиты от импульсных перенапряжений отдельно к каждому проводнику электрической сети.

**Ключевые слова:** вторичное действие молнии, приемник электрической энергии, электрическая сеть, система молниезащиты.

O. Kulakov, A. Katunin, Y. Denev

**Features of protection against secondary actions of lightning low voltage receivers of electric energy**

In order to ensure fire safety of objects, the peculiarities of protection of low-voltage receivers of electric energy from secondary lightning actions depending on the parameters of lightning and electrical network are defined. It is shown that the bulk of the current of lightning is missed by the power and information networks. The generalized dependence of current forces in a separate conductor of the electrical network on the number of leading communications for different values of peak currents of lightning was obtained. It is shown that in electrical networks with the type of grounding TN-S it is optimal to connect single-field pulse surge protection devices separately to each conductor of the power grid.

**Keywords:** secondary actions of lightning, electric energy receiver, electric network, lightning protection system.