

## ЗАХИСТ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК ВІД ІМПУЛЬСНИХ ГРОЗОВИХ І КОМУТАЦІЙНИХ ПЕРЕНАПРУГ

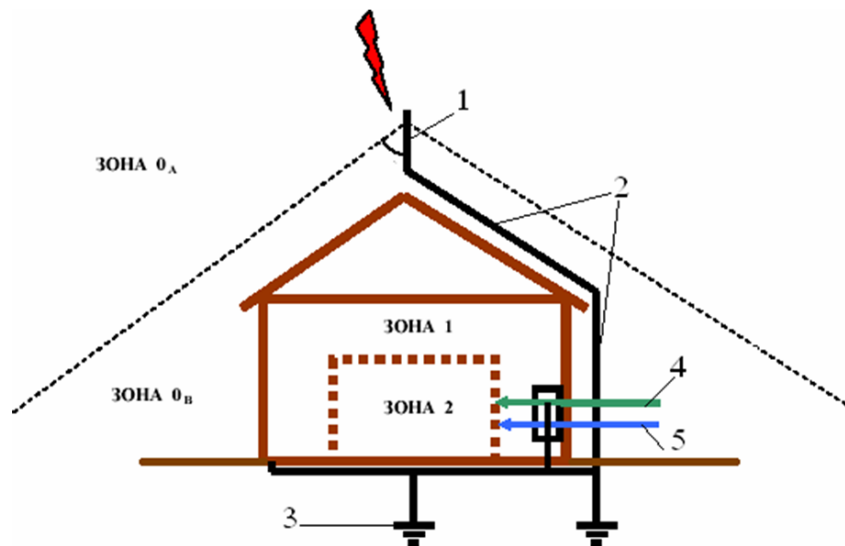
У статті проаналізовано діючі нормативно-технічні вимоги до блискавкозахисних систем та встановлено необхідність доповнення заходів захисту від прямого удару блискавки або наведень напруги віддаленим розрядом шляхом вибору типу захисних пристроїв і схем їх установки.

На основі обґрунтувань електромагнітних явищ доповнено методика застосування пристроїв захисту від імпульсних перенапруг, що суттєво знижує ризик виникнення пожеж

**Ключові слова:** блискавкозахисна система, пристрої захисту від імпульсних перенапруг, пожежна безпека, нормативно-технічні вимоги

**Постановка задачі.** Кількість пожеж електричного походження внаслідок грозового розряду зростає. Це стосується як промислових, так і побутових електричних мереж і електроустановок. Безпосередня небезпечна дія блискавки – це пожежі, механічні руйнування, травми та загибель людей і тварин, а також пошкодження електричного і електронного устаткування. Наслідками удару блискавки можуть бути вибухи і виділення небезпечних продуктів – радіоактивних і отруйних хімічних речовин, а також бактерій та вірусів. Удари блискавки можуть бути особливо небезпечні для електронних систем та комп'ютерного обладнання. Для впровадження сучасних засобів і методів розрахунку захисту від грозових розрядів в Україні розроблений національний стандарт ДСТУ Б В.2.5-38:2008 [1], який відповідає ІЕС 62305-2006 Protection against lightning (Блискавкозахист) у частині розділів 3-9. Струми блискавок можуть впливати на об'єкт прямим або непрямим способом при грозовому розряді в систему блискавкозахисту або споруди, що перебувають в безпосередній близькості, і дерева. Та найчастішими є випадки вторинних дій при ударі блискавки у віддалені об'єкти (лінії електропередач, підстанції і т. п.), зв'язані якими-небудь комунікаціями з об'єктом, що захищається, або при розрядах між хмарами, які спричиняють виникнення імпульсних струмів великих значень в металевих елементах конструкцій і комунікаціях. Щодо вибору типу захисних пристроїв і схем їх установки в зазначеному стандарті описано лише монтажні вимоги. Залізобетонні конструкції будівель, що виконують функцію природного заземлюючого пристрою і мають електричне з'єднання з системою вирівнювання потенціалів, досить добре екранують техніку, що перебуває всередині, від електромагнітних дій (клітка Фарадея), відводячи на ґрунт велику частку струму блискавки при прямому попаданні в об'єкт. Однак для збереження працездатного стану сучасних електронних пристроїв і залишкове значення є небезпечним.

**Аналіз сучасного стану проблеми.** Стандарт ІЕС 61312-1 визначає зони блискавкозахисту з погляду прямої і непрямой дії блискавки [2]. Такі захисні засоби як зовнішня система блискавкозахисту (далі – БЗС), екранування, еквіпотенціальні з'єднання провідних частин і пристрої захисту від імпульсної перенапруги визначають зони захисту від дії блискавки (рис. 1). Із зростанням номера зони захисту знижується вплив електромагнітного поля і струму блискавки.



*Рис. 1. Схема зон блискавкозахисту з погляду прямої і непрямої дії блискавки  
1 – блискавкоприймач, 2 – струмовідвід, 3 – заземлювач, 4 – електричні і 5 – неелектричні комунікації*

Зона  $0_A$  - зона зовнішнього середовища об'єкта, всі точки якої можуть зазнавати прямого удару блискавки і впливу електромагнітного поля, що виникає при цьому.

Зона  $0_B$  - зона зовнішнього середовища об'єкта, точки якого не зазнають прямого удару блискавки, оскільки знаходяться в просторі, захищеному зовнішньою блискавкозахисною системою. Однак в цій зоні діє повне електромагнітне поле.

Зона 1 - внутрішня зона об'єкта, точки якої не зазнають прямого удару блискавки. В цій зоні струми у всіх струмопровідних частинах мають значно менше значення в порівнянні із зонами  $0_A$  і  $0_B$ . Електромагнітне поле також знижене у порівнянні з зонами  $0_A$  і  $0_B$  завдяки екрануючим властивостям будівельних конструкцій.

Інші зони (2 і т.д.) — встановлюються, якщо потрібне подальше зменшення струму і/або ослаблення електромагнітного поля; вимоги до параметрів зон визначаються відповідно до вимог з захисту різних зон об'єкта (із збільшенням номера захисної зони зменшується вплив електромагнітного поля і струму блискавки). На межах розділу окремих зон необхідно забезпечити захисне послідовне з'єднання всіх металевих частин, із забезпеченням їх періодичного контролю.

Способи утворення зв'язків на межах розділу між зоною  $0_A$ , зоною  $0_B$  і зоною 1 наведені в ст.3.1 стандарту ІЕС 61024-1 [3]. На розподіл енергії електромагнітних полів усередині об'єкта впливають різні елементи будівельних конструкцій: отвори або щілини (наприклад, вікна, двері), обшивки з листової сталі (водостічні труби, карнизи), а також місця вводу-виводу кабелів електроживлення, зв'язку та інших комунікацій. Зовнішні металеві комунікації повинні входити в захисну зону 1 в одній точці і своїми екранними оболонками або металевими частинами підключатися до головної заземлюючої шини на межі розділу зон  $0_A$ - $0_B$  і зони 1.

Описаний поділ об'єкта на умовні зони дозволяє на практиці ефективно організувати захист мереж до 1000 В, а також ліній зв'язку, передачі даних, комп'ютерних мереж та інших комунікацій, що входять в об'єкт, за допомогою застосування різного типу пристроїв захисту від імпульсних перенапруг (далі – ПЗІП) [1]. Однак, для гарантованого захисту об'єкта від перенапруг, що виникають при стіканні струмів блискавки на заземлюючий пристрій або при «надходженні» хвилі перенапруги з мережі живлення (у разі віддаленого удару блискавки), зоною концепцією захисту передбачена тріступінчата схема включення захисних пристроїв, яка не обумовлена на сьогодні національними стандартами України [1, 4-6].

**Розв'язання задачі.** Згідно з вимогами стандартів ІЕС, пристрої захисту від перенапруг, залежно від місця установки і здатності пропускати через себе різні імпульсні

струми, діляться на такі класи: I, II, III (або A і B, C, D, згідно з німецьким стандартом DIN VDE 0675-6) [7]. Основні вимоги до обмежувачів перенапруг різних класів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

**Вимоги до обмежувачів перенапруг різних класів**

Клас пристрою	Призначення пристрою
I (A і B)	Призначені для захисту від прямих ударів блискавки в систему БЗС будівлі (об'єкта) або повітряну лінію електропередач (ЛЕП). Встановлюються на вводі в будівлю у головному розподільному щиті (ГРЩ) (категорія B) або на ЛЕП (категорія A). Нормуються імпульсним струмом $I_{imp}$ з тривалістю фронту/часом напівспаду імпульсу 10/350 мкс (кат. B) і 8/20 мкс (кат. A).
II (C)	Призначені для захисту розподільної мережі об'єкта від комутаційних завад або як другий рівень захисту при ударі блискавки. Встановлюються в розподільні щити. Нормуються імпульсним струмом із тривалістю фронту/часом напівспаду імпульсу 8/20 мкс.
III (D)	Призначені для захисту споживачів від залишкових стрибків напруги, захисту від диференціальних (несиметричних) перенапруг (наприклад, між фазою і нульовим робочим провідником в системі TN-S), фільтрації високочастотних перешкод. Встановлюються безпосередньо біля споживача. Можуть мати найрізноманітнішу конструкцію (у вигляді розеток, мережевих вилок, окремих модулів для установки на DIN-рейку або навісному монтажі). Нормуються імпульсним струмом з тривалістю фронту/часом напівспаду імпульсу 8/20 мкс.

Виходячи з оцінки ризику прямого удару блискавки або наведень напруги віддаленим розрядом, необхідно вибрати тип захисних пристроїв і схему їх установки. Необхідність захисту від грозових перенапруг залежить від:

- інтенсивності ударів блискавки в даному місці  $N$  (середня річна кількість ударів блискавки на  $1 \text{ км}^2$  за рік. У країнах Європи дану статистику проектувальник може легко отримати за допомогою автоматизованої системи визначення місця удару блискавки. Дані системи складаються з великої кількості давачів єдиної контрольної мережі, розміщених по всій території Європи. Інформація від давачів в реальному масштабі часу надходить на контролюючі сервери і за допомогою спеціального пароля доступна через Інтернет. В умовах України дане значення можна отримати, використовуючи карти грозової активності по регіонах. Але при цьому отриманий параметр буде вельми приблизним);
- оцінки вразливості самої електроустановки, наприклад, підземні системи електроживлення за зрозумілими причинами вважаються менш вразливими, ніж повітряні;
- вартості обладнання, підключеного до електроустановки, що захищається, оскільки це може стати важливим критерієм для ускладнення схеми захисту і навпаки.

При виборі захисних пристроїв на розрядниках або оксидно-цинкових варисторах необхідно звертати увагу на такі параметри:

1. *Номинальна робоча напруга ( $U_n$ )*. Це номінальна напруга мережі, для роботи в якій призначений захисний пристрій.
2. *Найбільша тривало допустима робоча напруга захисного пристрою (максимальна робоча напруга) ( $U_c$ )*. Це найбільше значення напруги змінного струму, яка може бути тривало (протягом всього терміну служби) прикладена до виводів захисного пристрою.
3. *Класифікаційна напруга (параметр для варисторних обмежувачів перенапруг)*. Це значення напруги промислової частоти, яка прикладається до варисторного обмежувача для отримання діючого класифікаційного струму (звичайне значення класифікаційного струму приймається рівним 1,0 мА).

4. *Імпульсний струм.* ( $I_{\text{imp}}$ ) Цей струм визначається піковим значенням  $I_{\text{peak}}$  випробувального імпульсу тривалістю 10/350 мкс і зарядом  $Q$ . Застосовується для випробувань захисних пристроїв класу I (категорія B).

5. *Номінальний імпульсний розрядний струм.* ( $I_n$ ) Це пікове значення випробувального імпульсу струму форми 8/20 мкс, що проходить через захисний пристрій. Струм такого значення захисний пристрій може витримувати багато разів. Використовується для випробування ПЗП класу II (категорія C і D). При дії даного імпульсу визначається рівень захисту пристрою. За цим параметром також проводиться координація інших характеристик ПЗП, а також норм і методів його випробувань.

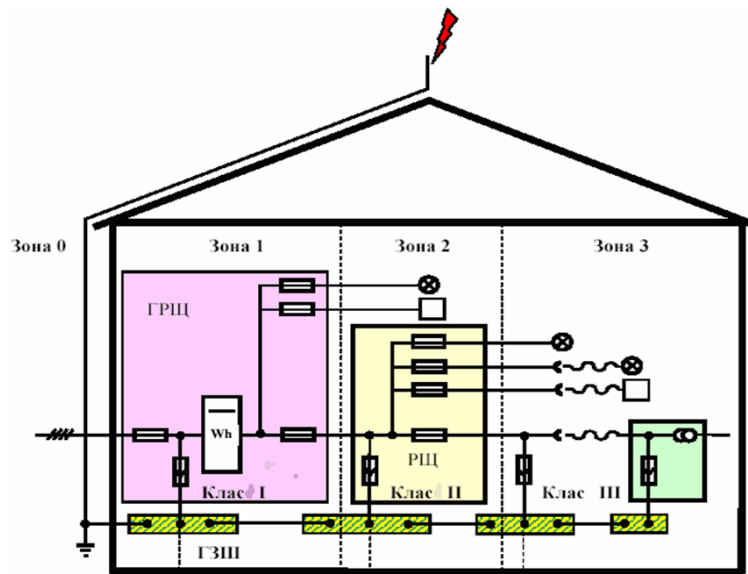
6. *Максимальний імпульсний розрядний струм* ( $I_{\text{max}}$ ). Це пікове значення випробувального імпульсу струму форми 8/20 мкс, який захисний пристрій може пропустити один раз і не вийти з ладу. Використовується для випробування ПЗП класу II (категорія C і D).

7. *Супроводжуючий струм* ( $I_f$ ) (*параметр для ПЗП на базі розрядників*). Це струм, який протікає через розрядник після закінчення імпульсу перенапруги і підтримується самим джерелом струму, тобто електроенергетичною системою. Фактично значення цього струму прямує до розрахункового струму короткого замикання (у місці встановлення розрядника для даної конкретної електроустановки). Тому для встановлення в колі «L-N; LPE» не можна застосовувати газонаповнені (та інші) розрядники із значенням  $I_f$  рівним 300 – 400 А. В результаті тривалої дії супроводжуючого струму вони будуть пошкоджені і можуть викликати пожежу. Для установки в дане коло необхідно застосовувати розрядники із значенням  $I_f$ , що перевищує розрахунковий струм короткого замикання, тобто значенням від 2–3-х кА і вище.

8. *Рівень захисту* ( $U_p$ ). Це максимальне значення спаду напруги на захисному пристрої при протіканні через нього імпульсного струму розряду. Параметр характеризує здатність пристрою обмежувати перенапруги, які з'являються на його клеммах. Зазвичай визначається при протіканні номінального імпульсного розрядного струму ( $I_n$ ).

9. *Час спрацювання.* Для оксидно-цинкових варисторів його значення не перевищує 25 нс. Для розрядників різної конструкції час спрацювання може знаходитися в межах від 100 наносекунд до декількох мікросекунд.

Існує ряд інших параметрів (рис. 2), які теж враховуються при виборі ПЗП: струм витоку (для варисторів), максимальна енергія, що виділяється на варисторі, струм спрацювання запобіжників (для захисних пристроїв з вбудованими запобіжниками). Для знаходження значення струму, що проходить через обмежувач першого рівня захисту в разі прямого удару блискавки в будівлю, захищену зовнішньою БЗС, рекомендується виходити з конфігурації системи заземлення і вирівнювання потенціалів будівлі, а також підведених до нього комунікацій (трубопроводів, кабелів живлення, кабелів зв'язку і передачі інформації та ін.).



*Рис. 2. Взаємозв'язок між зонами блискавкозахисту, класами захисних пристроїв і категоріями стійкості ізоляції обладнання до імпульсних перенапруг*  
 ГЗШ – головна заземлююча шина, ГРЩ – головний розподільчий щит, РЩ – розподільчий щит

Найскладніша схема системи захисту повинна виконуватися для об'єктів, які перебувають на відкритій місцевості і мають в своєму складі високо розташовані елементи конструкції. До таких об'єктів можна віднести котеджі в сільській місцевості, промислові об'єкти з високими трубами, об'єкти зв'язку з антенно-щоголовими спорудами і т. п., в яких із великою ймовірністю може ударити блискавка, а також об'єкти, що мають повітряні введення електроживлення.

У тому випадку, коли необхідно, наприклад, захистити будівлю, розташовану в населеному пункті міського типу, рішення дещо спрощується. У міських умовах удар блискавки найімовірніший у труби промислових підприємств, лінії електропередач, телевізійну вежу або окремі найвищі будівлі (особливо, якщо на них встановлені антенно-щоголові споруди базових станцій стільникового зв'язку).

**Отримані результати.** Основним принципом наведених заходів захисту є вирівнювання потенціалів між двома провідниками, одним з яких, як правило, є фазний провідник, а іншим – нульовий робочий або нульовий захисний провідник. При цьому в разі виходу з ладу обмежувача можливе виникнення режиму короткого замикання між даними провідниками, що може привести до виходу з ладу електроустановки і навіть виникнення пожежі.

Наявний у варисторних обмежувачах пристрій відключення при перегріванні варистора (тепловий захист), як правило, спрацьовує при старінні варистора, коли збільшуються струми витоку, або при перевищенні фактичного струму розряду через обмежувач над максимально допустимий. Враховуючи короточасність останнього процесу, варистор може навіть не вийти з ладу, але при цьому все одно буде відключений від кола, що захищається, внаслідок виділення великої кількості теплової енергії. Дещо інша ситуація виникає у разі сталого перевищення напруги в мережі над максимальною допустимою робочою напругою, визначеною ТУ для даного обмежувача. Наслідком такої ситуації може бути те, що відбувається відгорання нульового робочого провідника у ввіді в електроустановку. Як відомо, в цьому випадку до навантаження може виявитися прикладеною фазна напруга 380 В. При цьому варистор відкривається і через нього тривалий час протікає струм. Значення цього струму близьке до струму короткого замикання і може досягати декількох сотень ампер. З практики відомо, що пристрій теплового захисту не завжди спрацьовує в подібних ситуаціях.

Так само треба відзначити, що обмежувачі на базі розрядників не мають в своєму складі пристрою теплового відключення. В результаті описаної дії захисний пристрій, як правило, руйнується від дії великої кількості теплової енергії. Можливе навіть виникнення дуги і замикання клем пристрою на корпус шафи або DIN-рейку при розплавленні пластмаси корпусу. Тому для захисту електроустановки і обмежувачів всіх типів від режимів короткого замикання необхідно передбачати додатковий захист у вигляді швидкодіючих запобіжників з характеристикою спрацьовування gG або gL (класифікація згідно з стандартом VDE 0636 (Німеччина) [7], що встановлюються в коло послідовно з кожним обмежувачем. Дані запобіжники призначені для захисту провідників і комутаційних пристроїв від перевантажень і коротких замикань і мають досить складну внутрішню конструкцію.

Особливо слід відзначити, що застосування захисних автоматів в даній ситуації може не забезпечити необхідного результату. Наявний досвід експлуатації показує, що самі автоматичні вимикачі можуть бути пошкоджені імпульсом струму при грозовому розряді. При цьому може відбутися приварювання контактів розчеплювача один до одного і ймовірним є неспрацьовування автомата при короткому замиканні в навантаженні. Запобіжник цілком виключає подібну ситуацію. До того ж, при правильному виборі номіналу практично виключається ймовірність перегорання запобіжника під час проходження через захисний пристрій імпульсного струму при ударі блискавки.

Необхідно також розуміти, що при відмові від установки запобіжників, у випадку виникнення короткого замикання хоч би в одному з обмежувачів перенапруг, пройде спрацьовування ввідного автомата, і електроживлення споживача буде перервано до усунення несправності. Застосування запобіжників у колі кожного обмежувача перенапруги значно зменшує ймовірність такої ситуації. При виборі їх номіналів слід керуватися рекомендаціями виробника пристроїв захисту від перенапруг. Номінали загальних та індивідуальних запобіжників визначаються з урахуванням селективності їх спрацьовування, а так само з врахуванням здатності захисних пристроїв витримувати розрахункові струми короткого замикання для конкретної електроустановки.

**Висновок.** Таким чином, для доповнення заходів захисту від прямого удару блискавки або наведень напруги віддаленим розрядом, передбачених [1], необхідно вибрати тип захисних пристроїв і схему їх установки.

Як перший рівень захисту рекомендується встановлювати:

- при повітряному введенні електроживлення незалежно від наявності зовнішньої БЗС, коли можливе пряме попадання блискавки в проводи ЛЕП безпосередньо біля об'єкта – грозові розрядники, здатні пропускати через себе імпульсні струми форми 10/350 мкс з амплітудним значенням 50–100 кА та забезпечити рівень захисту ( $U_p$ ) менше 6 кВ (ПЗІП А);

- при підземному введенні електроживлення і за наявності зовнішньої БЗС, коли існує ймовірність розряду в блискавкоприймач, можна встановити варисторні обмежувачі перенапруг, здатні пропускати через себе імпульсні струми форми 10/350 мкс з амплітудним значенням 10-25 кА і також гарантують рівень захисту ( $U_p$ ) менше 4 кВ (ПЗІП В);

- за відсутності зовнішньої БЗС рекомендується встановлювати ПЗІП А, оскільки прямий удар блискавки в цьому випадку, як правило, приводить до динамічних дій на будівельні конструкції об'єкта, а також може спричиняти пожежу через іскріння і перекриття повітряних проміжків між провідними елементами об'єкта.

Як другий рівень захисту використовуються модулі з максимальним імпульсним струмом 20-40 кА форми 8/20 мкс і рівнем захисту ( $U_p$ ) менше 2,5 кВ (ПЗІП С).

Як третій рівень захисту використовуються модулі з максимальним імпульсним струмом 6-10 кА форми 8/20 мкс і рівнем захисту ( $U_p$ ) менше 1,5 кВ (ПЗІП D). Можуть застосовуватися комбіновані пристрої, що включають додатково завадостійкий фільтр на смугу частот в діапазоні 0,15 – 30 МГц.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Інженерне обладнання будинків і споруд. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд (IEC 62305:2006, NEQ): ДСТУ Б В.2.5-38:2008. – Введений 01.01.2009. - Київ: Держстандарт України, 2008. - 65 с.
2. Ochrona przed piorunowym impulsem elektromagnetycznym. Zasady ogolne. Ochrona przed piorunowym impulsem: PN-IEC 61312-1:2001.
3. Ochrona odgromowa obiektow budowlanych. Zasady ogolne. Wybor poziomow ochrony dla urzadzen piorunochronnych: PN-IEC 61024-1:2001.
4. Руководство ИСО/МЭК51 Общие требования к изложению вопросов безопасности при подготовке стандартов // Сертификация продукции. Основные положения. Нормативы. Организация. Методика и практика. В трех частях. - М.: Издательство стандартов, 1990. Часть 1. Международные стандарты и руководства ИСО/МЭК в области сертификации и управления качеством. - С 199-213.
5. Стійкість до дії грозових розрядів. Методи захисту: ДСТУ 3568-98. – Введений 01.07.1999. – Київ: Держстандарт України, 1998. – 5 с.
6. Правила улаштування електроустановок. Глава 1.7 «Заземлення і захисні заходи електробезпеки»: ПУЕ:2006.
7. [www.eti.org.ua](http://www.eti.org.ua).

*Ю.И. Рудык, к.т.н.*

## ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ОТ ИМПУЛЬСНЫХ ГРОЗОВЫХ И КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

В статье проанализированы действующие нормативно-технические требования к системам молниезащиты и установлена необходимость дополнения мероприятий защиты от прямого удара молнии или наведения напряжения отдаленным разрядом путем выбора типа защитных устройств и схем их установки.

На основе анализа электромагнитных явлений дополнена методика применения устройств защиты от импульсных перенапряжений, что существенно снижает риск возникновения пожаров.

**Ключевые слова:** система молниезащиты, устройства защиты от импульсных перенапряжений, пожарная безопасность, нормативно-технические требования.

*Yu.I. Rudyk, Candidate of Science (Engineering)*

## PROTECTION OF ELECTRICAL DEVICES FROM IMPULSIVE OVERVOLTAGE CAUSED BY THUNDERSTORMS AND COMMUTATIONS

The article deals with the analysis of active normative-technical requirements to the lightning protection systems and the necessity of additional protecting measures from the direct blow of lightning or voltage induction by a remote discharge by protective devices choice and charts of their setting.

On the basis of analysis of the electromagnetic phenomena the method of application of protection devices from impulsive overvoltages is complemented, that substantially reduces the risk of fires origin.

**Key words:** lightning protection system, protecting devices from impulsive overvoltages, fire