

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ПОЖЕЖНОЇ ТА
ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ
КАФЕДРА АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ БЕЗПЕКИ ТА
ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК

Тищенко Є.О., Кальченко Я.Ю.

Аудит блискавкозахисту будівель і споруд

Конспект лекцій

**Спеціальність «261 Пожежна безпека»
Освітньо-професійна програма «Пожежна безпека», «Пожежогасіння та
аварійно-рятувальні роботи»
Освітній рівень «бакалавр»**

Черкаси 2025

Рекомендовано до друку
навчально-науковим інститутом
пожежної та техногенної
безпеки НУЦЗ України
(протокол від _____ № ____)

Укладачі: Є.О. Тищенко, Я.Ю. Кальченко

Рецензенти: доктор технічних наук, професор, **О.М. Землянський**,
заступник начальника кафедри автоматичних систем
безпеки та електроустановок науково-навчального
інституту пожежної та техногенної безпеки Національного
університету цивільного захисту України;

Аудит блискавкозахисту будівель і споруд: конспект лекцій. Для
здобувачів вищої освіти, які навчаються на першому (бакалаврському)
рівні за спеціальністю 261 "Пожежна безпека" (освітньо-професійна
програма: «Пожежна безпека», «Пожежогасіння та аварійно-рятувальні
роботи») / Укладачі: Є.О. Тищенко, Я. Ю. Кальченко – Ч.: НУЦЗ України,
2025. – 116 с.

Конспект лекцій з дисципліни «Аудит блискавкозахисту будівель і
споруд» складений відповідно до освітньо-професійної програми
підготовки фахівців освітнього ступеня «бакалавр» в галузі знань 26
«Цивільна безпека» (спеціальність 261 “Пожежна безпека”, освітньо-
професійна програма «Пожежна безпека», «Пожежогасіння та аварійно-
рятувальні роботи»).

Метою конспекту лекцій є надання допомоги здобувачам вищої
освіти Національного університету цивільного захисту України у
виконанні контрольних робіт та у підготовці до успішного підсумкового
контролю знань з дисципліни «Аудит блискавкозахисту будівель і
споруд».

ЗМІСТ

ЛЕКЦІЯ 1. БЛИСКАВКИ ТА ЇХ НЕБЕЗПЕКА	6
1.1. Вступ. Захист від блискавки.....	6
1.2. Загальні відомості про блискавку.....	8
1.3. Небезпека прямого удару блискавки.....	15
1.4. Небезпека вторинних дій блискавки.	16
ЛЕКЦІЯ 2. ПРИНЦИПИ БЛИСКАВКОЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД	19
2.1. Параметри струму блискавки	20
2.2. Пошкодження через блискавку.....	21
2.3. Необхідність та економічне обґрунтування захисту від блискавки	25
2.4. Заходи захисту	26
2.5. Головні критерії захисту будівель (споруд).....	28
ЛЕКЦІЯ 3. РІВНІ, ЗОНИ ТА КЛАСИ БЛИСКАВКО ЗАХИСТУ	37
3.1. Поняття про рівні блискавкозахисту.	37
3.2. Розподіл будівлі (споруди) на зони Z_s , зони захисту від блискавки LPZ.	40
3.3. Класи LPS.....	43
ЛЕКЦІЯ 4. РИЗИКИ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ БЛИСКАВКОЗАХИСТУ.	45
4.1. Терміни та визначення.	45
4.2. Загальні положення оцінки ризиків при проектуванні блискавкозахисту	47
4.3. Порядкування ризиком.....	48
ЛЕКЦІЯ 5. ОЦІНЮВАННЯ КОМПОНЕНТІВ РИЗИКІВ	53
5.1. Процедури порядкування ризиком.	53
5.2. Оцінювання компонентів ризику.....	56
ЛЕКЦІЯ 6. ПРОЕКТУВАННЯ ЗОВНІШНЬОЇ СИСТЕМИ БЛИСКАВКОЗАХИСТУ	63
6.1. Поняття та складові зовнішньої LPS	63
6.2. Нормативні документи з розрахунку системи блискавкозахисту	64
6.3. Блискавкоприймачі. Методи визначення зон захисту блискавкоприймачів.....	65
6.4. Вимоги до розміщення блискавкоприймачів.....	69
ЛЕКЦІЯ 7. СКЛАДОВІ ЗОВНІШНЬОЇ СИСТЕМИ БЛИСКАВКОЗАХИСТУ	73
7.1. Доземні провідники та особливості їх розміщення	73
7.2. Уземлювачі, їх типи та особливості розміщення.....	83
ЛЕКЦІЯ 8. МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ БЛИСКАВКОЗАХИСТУ	90
8.1. Середньорічна тривалість гроз для заданого міста України.....	90
8.2. Види блискавкозахисту будівель і споруд та їх основні елементи.....	91
8.3. Метод блискавкоприймальної сітки	94
8.4. Метод сфери, що котиться	95
8.5. Метод захисного кута.....	100
ЛЕКЦІЯ 9. ПІДБІР SPD ДЛЯ БУДІВЕЛЬ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.	106
9.1. загальні відомості про пристрої захисту від імпульсних перенапруг (ПЗІП) – surge protective device (SPD).	106

9.2. Обґрунтування необхідності влаштування ПЗП (SPD).	108
--	-----

ВСТУП

«Аудит блискавкозахисту будівель і споруд» є засвоєння здобувачами вищої освіти теоретичних знань та надбання практичних навичок, що необхідні для розв'язання задач, пов'язаних із:

- знанням електротехнічних характеристик, визначенням та оцінюванням безпеки експлуатації електроустановок;
- ідентифікацією небезпек та можливих їх джерел, оцінюванням ймовірності виникнення небезпечних подій та їх наслідків;
- аналізом і обґрунтовуванням інженерно-технічних та організаційних заходів щодо цивільного захисту, техногенної та промислової безпеки на об'єктах та територіях.

Завданням навчальної дисципліни «Аудит блискавкозахисту будівель і споруд» є набуття здобувачами знань, вмінь щодо виконання оцінювання проєктів систем блискавкозахисту на відповідність вимогам пожежної безпеки та пропонувати необхідні інженерно-технічні заходи забезпечення пожежної безпеки.

У результаті вивчення дисципліни здобувач вищої освіти повинен отримати:

знання:

- небезпеки дії блискавки та захисту від неї будівель та споруд;
- суті блискавкозахисту, вимог до експлуатації блискавкозахисних пристроїв.

уміння:

- оцінювати пожежну небезпеку влучення блискавки та забезпечувати захист від неї будівель та споруд;
- проводити розрахунок систем блискавкозахисту.

ЛЕКЦІЯ 1. БЛИСКАВКИ ТА ЇХ НЕБЕЗПЕКА

Зміст лекції:

1.1. Вступ. Захист від блискавки

1.2. Загальні відомості про блискавку

1.3. небезпека прямого удару блискавки

1.4. небезпека вторинних дій блискавки

Література.

1.1. Вступ. Захист від блискавки

Щорічно в Україні відбувається близько 1500 пожеж від грозових розрядів блискавки.

Блискавка являє собою гігантський іскровий розряд в електричному полі атмосфери. Розвиток блискавки визначається складним комплексом фізичних процесів.

Протягом багатьох століть блискавка привертала до себе увагу вчених. Блискавка – статистичне явище, тому її дослідження пов'язане з великими труднощами.

Блискавка з давніх-давен є об'єктом інтересу з боку людини. Її небезпечні прояви були відомі ще з давніх-давен. У язичництві блискавку вважали діяльністю найбільш могутніх богів: Зевса у давньогрецькій міфології, Тора – у скандинавській, Перуна – у слов'янській. Ураження блискавкою вважалося карою божою. Відповідно, для захисту від блискавки відбувалися певні ритуали та обряди. З античної та слов'янської міфології уявлення про блискавку як інструмент божественної діяльності перекочувало і в християнство. Незважаючи на сприйняття блискавки як прояву вищих сил, проте вже в античності були виявлені певні закономірності в ураженні об'єктів блискавкою. Ще Фалесом було описано, що блискавка найчастіше вдаряє у високі окремі об'єкти. У Середньовіччі блискавка часто ставала причиною пожеж у дерев'яних містах, звідки пішло правило, що не можна будувати будинки вище за храм. Храми, розташовані, зазвичай на піднесених місцях, виконували у випадках роль блискавковідводів. Було також помічено, що металізовані (у ті роки – переважно позолочені) куполи рідше уражаються блискавкою.

Великий поштовх у вивченні блискавки дало розвиток мореплавання. По-перше, мореплавці зіткнулися з грозами небаченої на суші сили; по-друге, виявили, що грози нерівномірно розподілені за географічними широтами; по-третє, зауважили: при недалекому ударі блискавки стрілка компаса зазнає сильних відхилень; по-четверте, чітко пов'язали появу вогнів святого Ельма з грозою, що насувається. Крім того, саме мореплавці першими звернули увагу, що перед грозою виникали явища, схожі на ті, що виникають при електризації скла або шерсті від тертя.

Розвиток фізики в XVII-XVIII століттях дозволило висунути гіпотезу про зв'язок блискавки та електрики. Зокрема, такої думки дотримувався М.У. Ломоносов. Електрична природа блискавки була розкрита в

дослідженнях американського фізика Б. Франкліна, за ідеєю якого було проведено досвід із вилучення електрики з грозової хмари. Широко відомий досвід Франкліна щодо з'ясування електричної природи блискавки. В 1750 році опублікована робота, в якій описаний експеримент з використанням повітряного змія, запущеного в грозу. Досвід Франкліна був описаний у роботі Джозефа Прістлі. У червні 1847 року американський фотограф Томас Мартін Істерлі (Thomas Martin Easterly) зробив першу з відомих фотографій блискавки – «Вулична сцена № 267». Першою фотографією, зробленою з науковими цілями, вважається робота Вільяма Ніколсона Дженнінгса (William Nicholson Jennings), створена 1882 року (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Фотографія блискавки. Автор: Вільям Ніколсон Дженнінгс, 1882 рік

Перші спектри були зображені в 1893 році в Німеччині. Важливий етап у фотофіксації блискавок відбувся 1902 року, коли англійський фізик-експериментатор Чарлз Вернон Бойс створив спеціальний фотоапарат.

На початку XIX століття більшість вчених не сумнівалося в електричній природі блискавки (хоча існували й альтернативні гіпотези, наприклад хімічна) і основними питаннями дослідження стали механізм вироблення електрики в грозових хмарах і параметри грозового розряду.

У 1989 році було виявлено особливі види блискавок у верхній атмосфері: ельфи та спрайти. 1995 року було відкрито інший вид блискавок у верхній атмосфері – джети.

Наприкінці XX століття при вивченні блискавки були відкриті нові фізичні явища – пробій на електронах, що тікають і фотоядерні реакції під дією гамма-випромінювання грозового розряду.

Для вивчення фізики блискавки використовуються методи спостереження із супутників.

З часів Франкліна, Ломоносова й до наших днів накопичено значний експериментальний матеріал і створено певні наробітки щодо процесу

розвитку блискавки. На їх основі було розроблено основні принципи блискавкозахисту. Теорія блискавкозахисту формується на стику техніки високих напруг, геофізики та метеорології.

1.2. Загальні відомості про блискавку.

Встановлено, що зрілі грозові хмари мають біполярну структуру розподілу зарядів. Верхня частина хмари, як правило, несе надлишковий позитивний заряд, а нижня – негативний. При такому розподілі зарядів утворюються негативні блискавки. Значно рідше спостерігаються обернено поляризовані хмари, верхня частина яких несе надлишковий негативний заряд, а нижня – надлишковий позитивний заряд.

Однією з теорій, яка описує процес заряджання хмари, є *теорія гідрометеорів*. Звичайно поверхня землі має негативний заряд, а іоносфера – позитивний (рис. 1.2). Іоносфера розташована на висоті близько 100 км від поверхні землі. Хмара являє собою воду, яка перебуває у різних агрегатних станах (тверда фаза – сніжинка, градина, рідка фаза – крапля, газоподібна фаза – водяна пара), причому вода постійно переходить з одного агрегатного стану в інший, краплі дробляться та зливаються. Внаслідок цього створюються елементарні диполі, які називаються "гідрометеорами". Гідрометеори наявні у будь-якій хмарі, але вони спрямовані хаотично. Внаслідок дії механічних сил повітряних потоків у гравітаційному полі Землі в різних частинах хмари накопичуються заряди протилежних знаків, і між цими частинами виникає електричне поле, що ще більше підсилює процес заряджання хмари. Хмара стає грозовою. Різниця потенціалів між нижньою частиною грозової хмари та землею зростає до значення, яке є достатнім для пробоя повітряного проміжку «нижня частина хмари – земля» (близько 20 кВ/см), і виникає розряд блискавки. Чим менше відстань між нижньою частиною хмари та земною поверхнею, тим менше необхідна різниця потенціалів для пробоя повітряного проміжку «нижня частина хмари – земля».

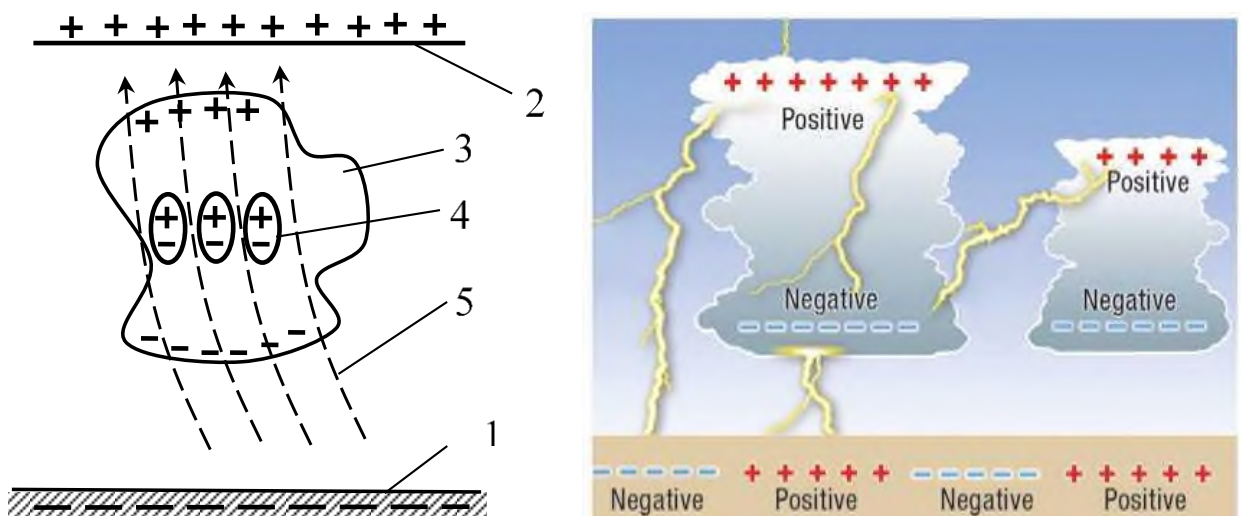


Рисунок 1.2 – Процес поляризації хмари 1 – поверхня землі; 2 – іоносфера; 3 – хмара; 4 – гідрометеор; 5 – повітряний потік

Блискавка – електричний розряд між хмарами або між хмарою і землею. У процесі утворення опадів у хмарі відбувається електризація крапель або льодяних частинок. Внаслідок сильних висхідних потоків повітря в хмарі утворюються відокремлені області, заряджені різнойменними зарядами. Коли напруженість електричного поля у хмарі або між нижньою зарядженою областю і землею досягає пробійного значення, виникає блискавка. Класифікацію блискавок приведено на рис. 1.3.

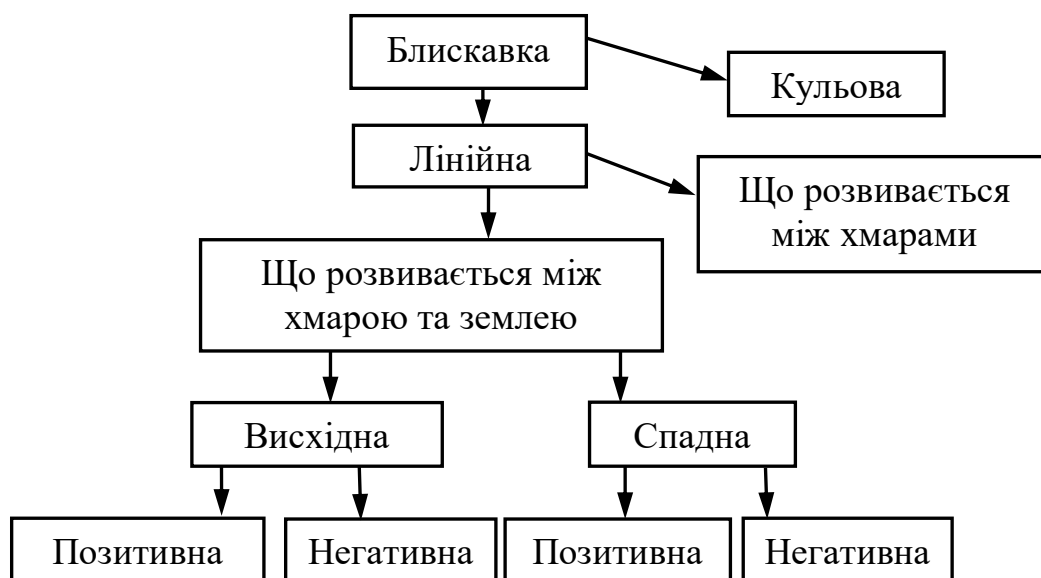


Рисунок 1.3 – Класифікація блискавок

Тип блискавки визначається візуально за напрямком розгалужень на фотографіях блискавки (рис. 1.4).

Блискавка на кшталт хмара-земля (негативної полярності) / англ. – Cloud toground (скорочене «-CG») – це електричний розряд між хмарою і поверхнею, що підстилає, викликаний низхідним, негативно зарядженим ступінчастим лідером (лідер – початкова стадія розвитку блискавки, невидима для людського ока). Має вигляд вигнутого каналу, що яскраво світиться, з відгалуженнями у напрямку до земної поверхні. Негативні розряди на кшталт хмара-земля найпоширеніші у природі. На частку припадає близько 20 - 30% від усіх блискавок. Такі блискавки супроводжуються потужним громом.

Блискавка на кшталт хмара-земля (позитивної полярності), (скорочено «+CG») – розряд між хмарою і землею, ініційований низхідним, позитивно зарядженим лідером. Позитивні розряди менш поширені, ніж негативні і нерідко пов'язані із суперосередковими грозами. Позитивні розряди складаються лише з одного імпульсу, який зазвичай дуже яскравий та інтенсивний у порівнянні з іншими видами блискавок. Наприклад, позитивна блискавка переносить заряд близько 40 кулонів (Кл), тоді як негативна лише близько 10 Кл. Грім від позитивного розряду часто досить гучний і багато разів звучить як серія глибоких низькочастотних звукових гуркотів, або нагадує звуки пострілів гармат. Такі блискавки пов'язані з центральною, позитивно зарядженою частиною грозової хмари і часто

вистрілюють з неї в бік, іноді на кілька кілометрів від грози, тому такі розряди отримали назву «удар із чистого неба» – англ. Bolt from the blue. Є найбільшою небезпекою серед інших типів блискавок. На частку припадає лише близько 8-10% від усіх блискавок. Також вони є джерелами появи таких явищ у верхній атмосфері, як спрайти та ельфи.

Об'єднуючою рисою двох вищезгаданих типів блискавок є видиме розгалуження каналу до земної поверхні.



Рисунок 1.4 – Різні типи блискавок на фотографіях: 1 – класична лінійна блискавка на кшталт хмара-земля; 2 – висхідні розряди блискавок; 3 – блискавка на кшталт хмара-повітря; 4 – павукоподібна блискавка; 5 – гладка блискавка; 6 – стрічкова блискавка; 7 – тригерна блискавка; 8 – чоткова блискавка; 9 – горизонтальна блискавка.

Блискавка на кшталт хмара-хмара (англ. cloud to cloud – CC) – виникають у результаті «обміну» і нейтралізації зарядів між сусідніми

хмарами. Пояснюється тим, що верхня частина хмари зазвичай заряджена позитивно, а нижня – негативно. Найчастіше цей тип блискавок спостерігається у скупченнях та комплексах купчасто-дощових хмар. Серед блискавок даного типу припадає близько 20-30% від загальної кількості.

Східні блискавки – позитивний розряд між землею та хмарою, який починає розвиватися зазвичай з дуже високих споруд, хмарочосів, телевеж або гірських вершин. Візуально можна відрізнити його завдяки розвитку розгалужень до хмари.

Внутрішньохмарна блискавка – від англ. Intracloud (IC), найбільш поширений тип блискавки, що відбувається всередині самої хмари, що нейтралізує різні області заряду. Підтипом таких розрядів є пласка блискавка, яка не супроводжується громом, швидше за все, через те, що переноситься занадто маленький заряд і не відбувається вибухове розширення блискавкового каналу. Найчастіше пласкі блискавки спостерігаються навесні та восени у слабо розвинених та невисоких грозових хмарах.

Горизонтальна блискавка – розряд, який розповсюджується в горизонтальній площині на всій поверхні неба. Горизонтальна блискавка з'являється вздовж нижньої межі хмари. Іноді такий вид блискавок пов'язані з розрядом на кшталт хмара-земля. До цього класу блискавок належить і павукоподібна блискавка (англ. spider lightning), а також Anvil Crawler. Два останні види мають добре виражене горизонтальне розгалуження, тим самим нагадуючи павутину.

Блискавка на кшталт хмара-повітря (від англ. cloud to air – CA) – дуже цікавий розряд блискавки, який бере свій початок із центральної чи верхньої частини хмари і закінчується у повітрі біля хмари. Зустрічається досить рідко і недостатньо вивчений.

«Гладка» блискавка – підтип лінійної блискавки між хмарою та землею, що візуально відрізняється практично рівним і нерозгалуженим каналом. Такий тип блискавок можна побачити під час сильної нестійкості атмосфери, часто при проходженні суперосередкових гроз, смерчів та мезомасштабних конвективних систем. Переносить позитивний заряд і зазвичай складається лише з одного імпульсу. Вперше виділено в окремий підтип метеорологами у 2012 році.

Чоткова блискавка (bead lightning; éclair en chapelet; Perlschnurblitz) – є дуже рідкісним типом лінійної блискавки, коли канал блискавки розбивається (або здається розбитим) на фрагменти, що світяться, довжина яких, як зазвичай повідомляють, становить кілька метрів. Очевидно, ці «чотки» існують значно довше, ніж канал звичайного розряду хмара-земля. Світіння окремих фрагментів каналу відбувається через пінч-ефект – неоднорідність електромагнітного поля навколо блискавкового каналу.

Стрічкова блискавка – даний вид блискавки має широкий канал, в якому виразно можна розрізнити кількість імпульсів у спалаху. Точна причина появи такої блискавки не відома, але імовірно розряд звичайної

блискавки набуває такої химерної форми рахунок зміщення каналу вітром, але це твердження залишається під великим питанням.

Тригерна блискавка – розряд блискавки, викликаний штучним шляхом. Найчастіше тригерні блискавки спостерігаються під час запуску спеціальної ракети з дротом до основи грозової хмари і досягнення ракетою висоти 200-300 метрів, вона ініціює електричний пробій, що йде вздовж мідного дроту, тому частина каналу такої блискавки є прямим без розгалужень.

Кульова блискавка. На сьогоднішній день вченими ще остаточно не доведено її існування у природі, але численні свідчення та випадки змушують прийняти цей вид блискавок як реальний, хоч і вкрай рідкісний. Як повідомляють різні очевидці, така блискавка є кулею, що світиться, розміром від декількох десятків сантиметрів до метра і навіть більше. Колір варіюється від яскраво білого до фіолетового і навіть бузкового. Мабуть, така блискавка є потік плазми, що вільно переміщається в атмосфері і підтримується потужним електричним полем у грозову погоду. Оскільки кульова блискавка переміщається за повітряними потоками, вона може легко влетіти у приміщення через відкрите вікно чи двері, особливо якщо є протяг. Також часто вона вражає водопровід та електромережі. Іноді були випадки, коли така плазмова куля раптово вибухала з ляскотом та провокувала пожежі, а також опіки у людей. У будь-якому випадку дані про цей вид блискавок досить неоднозначні і суперечать деяким законам фізики.

Спалахи у верхніх шарах атмосфери: стратосфері, мезосфері та термосфері, спрямовані вгору, вниз та горизонтально, дуже слабо вивчені. Вони поділяються на спрайти, джети та ельфи. Забарвлення спалахів та їх форма залежить від висоти, де вони відбуваються. На відміну від блискавок, що спостерігаються на Землі, ці спалахи мають яскравий колір, зазвичай червоний або синій, і покривають великі простори у верхніх шарах атмосфери, а іноді простягаються до кордону з космосом (рис. 1.5).

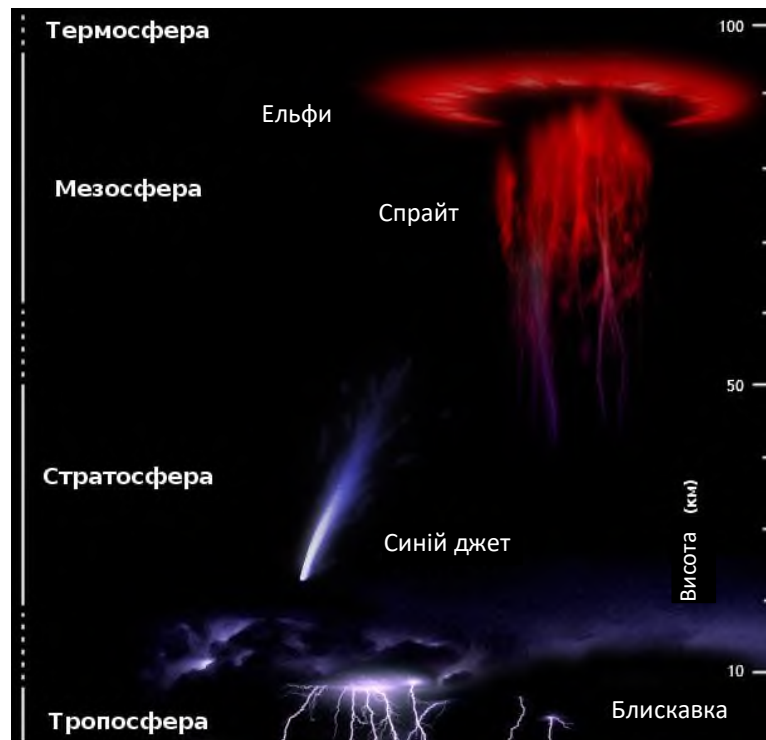


Рисунок 1.5 – Блискавки та електричні розряди у верхніх шарах атмосфери

Ельфи – (англ. Elves; скор. від Emissions of Light and Very Low Frequency Perturbations from Electromagnetic Pulse Sources) являють собою величезні спалахи-конуси, що слабо світяться, діаметром близько 400 км, які з'являються безпосередньо з верхньої частини грозової хмари. Висота ельфів може досягати 100 км, тривалість спалахів – до 5 мс (в середньому 3 мс).

Джети – труби-конуси синього кольору. Висота джетів може досягати 40-70 км (нижня межа іоносфери), тривалість джетів більша, ніж у ельфів.

Спрайти – важко помітні, але вони з'являються майже будь-якої грози на висоті від 55 до 130 кілометрів (висота утворення «звичайних» блискавок – не більше 16 кілометрів). Це якась подоба блискавки, що б'є з хмари нагору. Вперше це явище було зафіксовано у 1989 році випадково. Тепер про фізичну природу спрайтів відомо дуже мало.

Зелені привиди – (аббревіатура від green emissions from excited oxygen in sprite top («зелене свічення від збудженого кисню у вершинах спрайтів», ghost англійською привидом) з'являються після спалаху червоних спрайтів на кілька секунд як зелене післясвічення. Відкриті 25 травня 2019 р., хоча спостерігалися з 2014 р. Явище ще вивчається, імовірна гіпотеза виникнення – коли верхівки потужних спрайтів ударяються об шар, де відбувається свічення атмосфери, на висоті 90 км над поверхнею, атоми кисню можуть короткий час світитися зеленим кольором.

Блискавкозахист улаштовують тільки для захисту від *лінійних блискавок*. Екзотичне явище – *кульова блискавка* – виникає дуже рідко й не може бути причиною систематичних аварій.

Лінійні блискавки розвиваються між хмарою й землею, а також між окремими хмарами й усередині хмари. Більш докладно вивчено розряди між хмарою й землею, які є основною причиною ушкодження наземних споруд.

Розряд блискавки починається з розвитку лідера – слабосвітнього каналу зі струмом силою у кілька сотень ампер.

Про існування висхідних блискавок, що вражають висотні об'єкти, довідалися тільки після початку систематичних досліджень блискавки.

Також блискавки відрізняються за знаком заряду, що ними переноситься. Полярність блискавки прийнято визначати за знаком заряду, що переноситься від хмари до землі по її каналу. Більшість блискавок (до 90 %) незалежно від їхнього типу, переносять на землю негативний заряд. Тому найбільш повно вивчено спадну негативну лінійну блискавку.

У вузькому каналі повітря лавиноподібно збільшується кількість електронів, що рухаються від хмари до землі. Цим іонізованим каналом, як у провіднику, із хмари починають витікати заряди.

Так виникає лідер блискавки, який пробігає 50-100 м і завмирає на 10^{-6} секунд, протягом яких відбувається іонізація повітряного простору навколо головки лідера. Потім він відразу ж відновлюється у тому ж каналі і пробігає ще таку ж відстань. Так триває доки лідер не досягне землі.

У міру просування лідера до землі напруженість поля на його кінці посилюється і під його дією з виступаючих на поверхні землі предметів викидається у відповідь стример, що з'єднується з лідером, та притягує його у точку, з якого цей стример з'явився. Ця особливість блискавки використовується для створення блискавкозахисту.

У заключній стадії по іонізованому лідером каналу слідує головний або зворотній (знизу вгору) розряд блискавки, що характеризується струмами від десятків до сотень тисяч ампер, яскравістю, що помітно перевищує яскравість лідера, і великою швидкістю просування, що спочатку доходить до $\sim 100\,000$ кілометрів на секунду, а в кінці зменшується до $\sim 10\,000$ кілометрів на секунду. Температура каналу при головному розряді може перевищувати $20\,000-30\,000$ °С. Довжина каналу блискавки може сягати від 1 до 10 км, діаметр – кілька сантиметрів. Після проходження імпульсу струму іонізація каналу і його свічення слабшають. У фінальній стадії струм блискавки може тривати соті і навіть десятки частки секунди, досягаючи сотень і тисяч ампер. Такі блискавки називають затяжними, вони найчастіше викликають пожежі.

Спадна негативна лінійна блискавка має декілька компонент (за зовнішніми ознаками канал блискавки "пульсує" за яскравістю). Основною компонентою є перша компонента. Наступні компоненти використовують канал між хмарою й землею, що залишився від першої компоненти. Кожна з компонент виникає в результаті втягування у процес розряду нових скупчень зарядів у грозовій хмарі.

У кожній компоненті спадної негативної лінійної блискавки виділяють три основні стадії: лідерну, головну та фінальну.

Лідерна стадія триває декілька мілісекунд. Ця стадія визначає місце удару блискавки у землю. Чим менше відстань між нижньою частиною грозової хмари та землею, тим вище ймовірність удару блискавки саме в це місце. Фактично відбувається пробій повітряного проміжку «хмара-земля» за

рахунок поступового проростання головного високотемпературного каналу лідера, що несе струм силою у сотні ампер і потенціал у десятки мегавольт. Довжиною каналу лідера розподілений електричний заряд величиною до декількох кулон. Лідер спадної блискавки виникає під дією процесів у грозівій хмарі. У міру просування лідера до землі з наземних об'єктів можуть збуджуватися спрямовані до хмари зустрічні лідери. Зіткнення одного з них зі спадним лідером (або торкання останнього поверхні землі) визначає місце удару блискавки в землю або об'єкт.

Головна стадія виникає при замиканні на землю каналу спадного лідера. Дана стадія являє собою найбільшу небезпеку, тому що відбувається розряд заряду, накопиченого у хмарі. Головна стадія супроводжується дуже різким збільшенням яскравості світіння каналу та потужним звуковим ефектом (громом). Струм головної стадії – перший негативний імпульс, накладений на безперервну складову. Перший імпульс за загальної тривалості в кілька сотень мікросекунд має довжину фронту від 3 до 20 мксек; пікове значення сили струму може досягати значення 200 кА.

Фінальна стадія характеризує перехідний процес, яким закінчується нейтралізація заряду. Як правило, за першим імпульсом (головною стадією) спостерігаються наступні імпульси з меншими амплітудами й довжиною фронту (у середньому 0,6 мкс і 12 кА). При цьому крутість сили струму на фронті наступних імпульсів вище, ніж для першого імпульсу. Процес іде менш інтенсивно.

Загальна тривалість блискавки становить від 0,1 с до 1-1,5 с. Заряд, що переноситься блискавкою, коливається від одиниць до сотень кулон.

Накопичені фактичні дані про параметри спадних блискавок не дозволяють судити про їх розходження в різних географічних регіонах світу. Тому для всієї території України їх імовірнісні характеристики прийнято однаковими.

Висхідні негативні блискавки розвиваються з висотних заземлених споруд. На рівнинній місцевості висхідні блискавки уражають об'єкти висотою більше 150 м, а в гірських районах збуджуються з гострих елементів рельєфу і споруд меншої висоти й тому спостерігаються частіше.

Позитивна блискавка (так звана "червона блискавка") є достатньо рідким явищем і її вивчено менше. Позитивна блискавка, як правило, є однокомпонентною, але заряд, що переноситься нею, може бути значно більшим, ніж заряд, що переноситься багатокомпонентною негативною блискавкою.

Небезпека дії блискавки розглядається у двох напрямках: небезпека прямого удару блискавки та небезпека вторинних дії блискавки.

1.3. Небезпека прямого удару блискавки

Прямий удар блискавки (ПУБ) – безпосередній контакт каналу блискавки з об'єктом (будівлею або спорудою), що супроводжується протіканням через нього струму блискавки.

Небезпека прямого удару блискавки полягає в контакті горючого

середовища з каналом блискавки, температура в якому досягає $+30000\text{ }^{\circ}\text{C}$ за сили струму 200000 A і часу дії близько 100 мкс . Від прямого удару блискавки запалюються всі горючі середовища.

Прямий удар блискавки справляє електричний, термічний та механічний впливи.

Електричний вплив ПУБ зумовлений можливістю ураження людей або тварин електричним струмом і появою перенапруг на уражених елементах. За відсутності блискавкозахисту шляхи розтікання струму блискавки є неконтрольованими, і її удар може створити небезпеку ураження струмом, небезпечні напруги кроку і дотику тощо.

Термічний вплив ПУБ зумовлений різким виділенням теплоти при прямому контакті каналу блискавки із вмістом об'єкта при протіканні через об'єкт струму блискавки. Енергія, що виділяється в каналі блискавки, перевищує $5,5\text{ Дж}$ (у розрахунку на опір 1 Ом), що на кілька порядків перевищує мінімальну енергію запалювання більшості газо-, паро- і пилоповітряних сумішей. Тому контакт із каналом блискавки створює небезпеку запалювання. Є імовірність проплавляння корпусів установок. При протіканні струму блискавки по тонких провідниках створюється небезпека їх розплавлення і розриву. Є небезпека пропалювання і розплавлення сталевих пластин товщиною до 4 мм ; при протіканні струму блискавки по сталевих конструкціях перерізом менше 16 мм^2 може статися їх розплавлення.

Механічний вплив ПУБ зумовлений ударною хвилею, що поширюється від каналу блискавки, й електродинамічними силами, що діють на провідники зі струмами блискавки. Цей вплив може спричинити розщеплення деревини, утворення тріщин у бетоні тощо. Якщо між ураженою ділянкою і землею немає струмопровідних шляхів, то відбувається пробій цього об'єкта на шляху меншого електричного опору. Цей шлях – капіляри, заповнені вологою. При розряді вода випаровується практично миттєво, збільшуючись при цьому в об'ємі в десятки разів. Відбувається вибухове руйнування об'єкта.

1.4. Небезпека вторинних дій блискавки.

Вторинні дії блискавки – дії електромагнітного поля блискавки на металеві елементи будівельних конструкцій, електричні й електронні системи.

Вторинні дії блискавки пов'язані з дією на об'єкт електромагнітного поля близьких розрядів. Звичайно це поле розглядають у виді двох складових: електростатичної та електромагнітної індукції.

Електростатична індукція зумовлена переміщенням зарядів у лідері і каналі блискавки. Електростатичний індукційний вплив проявляється у виді імпульсних перенапруг, що виникають на металевих конструкціях об'єкта. Величина імпульсної перенапруги залежить від величини сили струму блискавки, відстані до місця удару, опору заземлення. За відсутності належного заземлення імпульсна перенапруга може сягати сотень кіловольт і

створювати небезпеку ураження людей електричним струмом та виникнення іскор між окремими частинами об'єкта.

Електромагнітна індукція зумовлена зміною струму блискавки в часі. Електромагнітна індукція приводить до утворення у металевих контурах об'єкта ЕРС, пропорційної швидкості зміни струму блискавки і площі, охопленої контуром. Протяжні комунікації в сучасних виробничих будівлях можуть утворювати контури, що охоплюють велику площу, в яких є небезпека наведення ЕРС у кілька десятків кіловольт. У місцях зближення протяжних металевих конструкцій, у розривах незамкнених контурів створюється небезпека перекриттів та іскрінь із можливим розсіюванням енергії близько десятків часток джоуля.

Пожежна небезпека вторинних дій блискавки полягає в іскрових розрядах, що виникають у результаті індукційного й електромагнітного впливу атмосферної електрики на виробниче устаткування, трубопроводи й будівельні конструкції. Енергія іскрового розряду перевищує 250 мДж є достатньою для запалення горючих речовин з мінімальною енергією запалювання до 0,25 Дж.

Також небезпеку являє собою занесення високого потенціалу в будинок по металевих комунікаціях не тільки при прямому влученні блискавки, але і при розташуванні комунікацій у безпосередній близькості від блискавководводу. При недотриманні безпечних відстаней між блискавковододами й комунікаціями енергія можливих іскрових розрядів сягає значень 100 Дж і більше, тобто є достатньою для загоряння всіх горючих речовин.

Література:

1. Тищенко Є.О., Кальченко Я.Ю. Конспект лекцій. Аудит блискавкозахисту будівель і споруд. – Черкаси : НУЦЗУ, 2025. – 118 с.
2. Захист від блискавки. Частина 1. Загальні принципи (EN 623051:2011, IDT): ДСТУ EN 62305-1:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
3. Захист від блискавки. Частина 2. Керування ризиками (EN 623052:2010, IDT): ДСТУ EN 62305-2:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
4. Захист від блискавки. Частина 3. Фізичні руйнування споруд та небезпека для життя людей (EN 62305-3:2011, IDT): ДСТУ EN 62305-3:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
5. Захист від блискавки. Частина 4. Електричні та електронні системи, розташовані в будинках і спорудах (EN 62305-4:2010, IDT): ДСТУ EN 623054:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
6. Денис О., Степура Ю., Жарков В. Методичні рекомендації з розрахунку та проектування систем блискавкозахисту. Професійний блискавкозахист. – Львів: ТзОВ «ФС блискавкозахист», 2023. – 118с

7. Монтаж пристроїв блискавкозахисту будівель та споруд: навчальний посібник / Ю. П. Войтюк, Д. Г. Писаренко. – Вінниця: ВНТУ, 2021. – 94 с.

Питання для самоконтролю:

1. Наведіть класифікацію блискавок.
2. Назвіть електричні розряди у верхніх шарах атмосфери.
3. Поясніть, в чому виражається небезпека прямого удару блискавки (ПУБ)?
4. Поясніть, в чому виражається електричний вплив ПУБ?
5. Поясніть, в чому виражається термічний вплив ПУБ?
6. Поясніть, в чому виражається механічний вплив ПУБ?
7. Поясніть, в чому виражається небезпека вторинних дій блискавки?

ЛЕКЦІЯ 2. ПРИНЦИПИ БЛИСКАВКОЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

Зміст лекції:

2.1. Параметри струму блискавки

2.2. Пошкодження через блискавку

2.3. Необхідність та економічне обґрунтування захисту від блискавки

2.4. Заходи захисту

2.5. Головні критерії захисту будівель (споруд)

Література

Не існує пристроїв чи методів, здатних змінити природні атмосферні явища такою мірою, аби запобігти виснагам блискавки. Доземні спалахи блискавки у будівлі (споруди) чи поблизу них (або ліній, приєднаних до будівель (споруд)) є небезпечними для людей, для самих будівель (споруд) , їхнього вмісту й устаткування, а також для ліній. Тому істотним є використання захисту від блискавки.

Необхідність захисту, економічні переваги при встановленні засобів захисту та вибір адекватних захисних засобів має бути визначено у термінах порядкування ризиками. Порядоквання ризиками є предметом розгляду ІЕС 62305-2.

Захисні заходи, які розглядаються у ІЕС 62305, є такими, ефективність яких у зниженні ризику є доведеною. Усі заходи щодо захисту від блискавки утворюють всеохоплюючий захист від блискавки. З практичних міркувань критерії щодо проектування, монтажу та технічного обслуговування засобів захисту від блискавки розглядаються у двох окремих групах:

- перша група, у якій йдеться про засоби захисту для зменшення фізичних руйнувань та небезпек для життя, подано у ІЕС 62305-3;

- друга група, у якій йдеться про засоби захисту для зменшення відмов електричних й електронних систем у будівлях (споруда) , подано у ІЕС 62305-4.

Зв'язок між частинами ІЕС 62305 показано на рисунку 2.1.

В першій частині ІЕС 62305 містить загальні принципи, яких належить дотримуватися у захисті будівель (споруд) від блискавки, включно із їхнім устаткуванням та вмістом, а також людей.

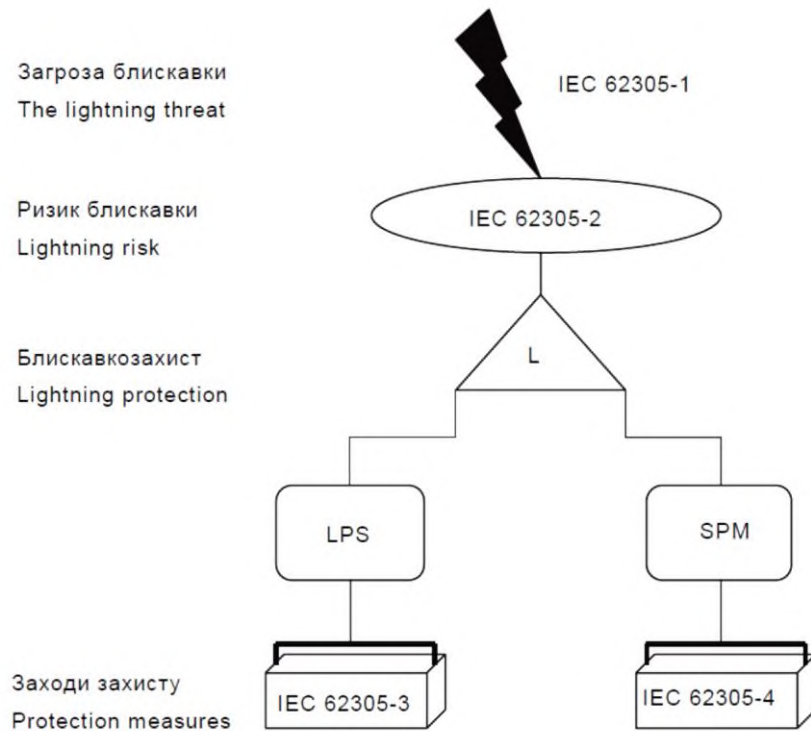


Рисунок 2.1 – Зв'язок між різними частинами ІЕС 62305

Стандарт не застосовується для улаштування блискавкозахисту на наступних об'єктах:

- залізничні системи;
- автотранспортні засоби, судна, літаки,
- установки поза берегом;
- підземні трубопроводи високого тиску;
- трубопроводи, силові й телекомунікаційні лінії поза будівлями (спорудами).

2.1. Параметри струму блискавки

Параметри струму блискавки, що використовуються у серії ІЕС 62305, наведено у Додатку А (ІЕС 62305-1).

Функцію струму блискавки залежно від часу, яка використовується з метою аналізу, наведено у Додатку В (ІЕС 62305-1).

Відомості про моделювання струму блискавки з метою тестування наведено у Додатку С (ІЕС 62305-1).

Базові параметри, призначені для використання в лабораторії для моделювання впливу блискавки на компоненти LPS, наведено у Додатку D (ІЕС 62305-1).

Відомості про перенапруги внаслідок блискавки у різних точках електричної системи наведено у Додатку Е (ІЕС 62305-1).

2.2. Пошкодження через блискавку

2.2.1 Пошкодження будівлі (споруди)

Блискавка, що впливає на будівлю (споруду), може призвести до пошкоджень самої будівлі (споруди), її мешканців й вмісту, з відмовою внутрішніх систем включно. Пошкодження й відмови можуть також поширюватися на оточення будівлі (споруди) та навіть на локальне середовище.

2.2.1.1 Вплив блискавки на будівлю (споруду)

Основними характеристиками будівлі (споруди), яка піддається дії блискавки, є:

- конструкція (наприклад, дерево, цегла, бетон, залізобетон, сталеві каркаси);
- функція (житловий будинок, офіс, ферма, театр, готель, школа, лікарня, музей, церква, в'язниця, універмаг, банк, завод, промислова зона, спортивна арена);
- мешканці та вміст (люди й тварини, наявність горючих й негорючих матеріалів, вибухонебезпечних й вибухобезпечних матеріалів, електричних й електронних систем, з низькою або високою витримуваною напругою);
- приєднані лінії (живильні лінії, телекомунікаційні лінії, трубопроводи);
- наявні засоби захисту, або ті, що запроваджуються (приміром, засоби захисту для зменшення фізичних пошкоджень й небезпеки для життя, засоби захисту для зменшення відмов внутрішніх систем);
- межі поширення небезпеки (будівля (споруда) з утрудненою евакуацією або будівля (споруда), в якій може виникнути паніка, будівля (споруда), що становить небезпеку для оточення, будівля (споруда), що становить небезпеку для довкілля).

В таблиці 2.1 наведено дію блискавки на різні типи будівель (споруд).

Таблиця 2.1 – Вплив блискавки на типові будівлі (споруди)

Тип будівлі (споруди) відповідно до призначення та/або вмісту	Дія блискавки
Житловий будинок	Пробій електричних установок, пожежа та пошкодження матеріалів. Пошкодження, зазвичай обмежуються будівлями (спорудами), які є у точці удару, або є на шляху струму блискавки. Відмова електричного й електронного обладнання та встановлених систем (приміром, телевізори, комп'ютери, модеми, телефони тощо)
Сільськогосподарська	Насамперед, ризик пожежі та небезпечної крокової

споруда	напруги, а також пошкодження матеріалів Окрім того, ризик припинення електропостачання й небезпека для життя тварин внаслідок відмови електронних систем керування вентиляцією, подачі кормів тощо
Театр Готель Школа Універмаг Спортивна зона	Пошкодження електричних установок (приміром, електричного освітлення) може призвести до паніки Відмова пожежної сигналізації, що призводить до запізнення вжиття заходів боротьби з пожежею
Банк Страхова компанія Торговельна компанія тощо	Як зазначено вище, плюс проблеми внаслідок втрати зв'язку, відмов комп'ютерів та втрат даних
Лікарня Будинок для людей похилого віку В'язниця	Як зазначено вище, плюс проблеми, що виникають із хворими, та утруднення порятунку людей, переміщення яких обмежено
Промисловість	Додаткові впливи залежно від вмісту підприємств, що призводить до пошкоджень: від легких до таких, що є неприйнятними, та втрата продукції
Музеї й археологічні майданчики Церква	Втрата культурної спадщини, яку не відновити
Телекомунікації Електростанції	Неприйнятні втрати можливості надання громадських послуг
Завод виробів для феєрверків Підприємство з випуску боєприпасів	Наслідки пожежі та вибуху для підприємства та для довкілля
Хімічний завод Нафтопереробний завод Атомна електростанція Біохімічні лабораторії та заводи	Пожежа й невідповідне функціонування підприємства зі згубними наслідками для локального й глобального довкілля

2.2.1.2 Джерела і типи пошкоджень будівлі (споруди)

Струм блискавки є джерелом пошкоджень. В залежності від положення точки удару щодо будівлі (споруди), можуть розглядатися наступні сценарії:

- а) S1: спалахи блискавки у будівлю (споруду),
- б) S2: спалахи блискавки поблизу будівлі (споруди),
- в) S3: спалахи блискавки у лінію,
- г) S4: спалахи блискавки поблизу лінії.

а) Влучання блискавки у будівлю (споруду) можуть спричинити:

- безпосереднє механічне ушкодження, пожежу та/або вибух внаслідок високої температури плазми самої дуги блискавки, внаслідок струму, який

призводить до омичного нагрівання провідників (перегріті провідники), або через дугову ерозію (викид часток розплавленого металу);

- пожежа та/або вибух, ініційовані іскрами, спричиненими перенапругами, які є результатом резистивних та індуктивних зчеплень, та протікання частини струмів блискавки;

- ушкодження живих істот від ураження електричним струмом через напругу дотику і крокову напругу, як результат резистивних та індуктивних зчеплень;

- відмова або збій у роботі внутрішніх систем внаслідок LEMP.

в) Влучання блискавки поблизу будівлі (споруди) можуть спричинити:

- відмову або збій у роботі внутрішніх систем внаслідок LEMP.

с) Влучання блискавки у лінії, приєднані до будівлі (споруди), можуть спричинити:

- пожежу та/або вибух, ініційовані іскрами, спричиненими перенапругами й струмами блискавки, переданими через приєднані лінії;

- ушкодження живих істот від ураження електричним струмом через напругу дотику всередині будівлі (споруди), спричинену струмами блискавки, переданими через приєднані лінії;

- відмову або збій у роботі внутрішніх систем внаслідок перенапруг, що виникають на приєднаних лініях та передаються до будівлі (споруди).

d) Влучання блискавки поблизу ліній, приєднаних до будівлі (споруди), можуть спричинити:

- відмову або збій у роботі внутрішніх систем внаслідок перенапруг, індукованих на приєднаних лініях і переданих до будівлі (споруди).

При цьому, збій у роботі внутрішніх систем не охоплюється серією ІЕС 62305. Дивись ІЕС 61000-4-5 [2].

Тільки іскри, що несуть струм блискавки (повний або частковий), вважаються здатними викликати пожежу

Спалахи блискавки, безпосередньо у трубопроводі або поблизу них, не спричиняють пошкодження будівлі (споруди) за умови, що їх приєднано до сполучної шини будівлі (споруди) (дивись ІЕС 62305-3).

Таким чином, блискавка може спричинити три основні типи пошкоджень:

- D1: ушкодження живих істот від ураження електричним струмом;

- D2: фізичне пошкодження (пожежа, вибух, механічне руйнування, хімічний викид) внаслідок впливу струму блискавки, з іскрінням включно;

- D3: відмова внутрішніх систем внаслідок LEMP.

2.2.2 Типи втрат

Кожен з типів пошкоджень, що стосуються будівлі (споруди), поодиноці або у поєднанні з іншими, можуть спричинити різноманітні серйозні втрати.

Типи втрат можуть виникнути залежно від характеристик самої будівлі (споруди).

Для потреб ІЕС 62305, розглядаються наступні типи втрат, які можуть виникнути, як наслідок небезпек, що стосуються будівлі (споруди):

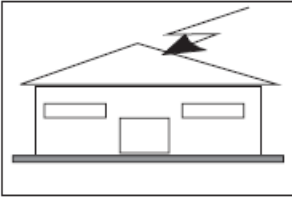
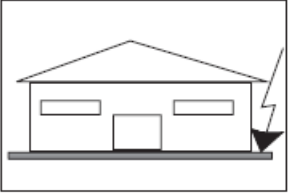
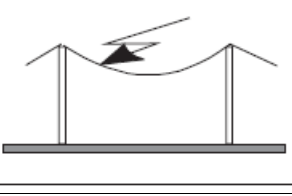
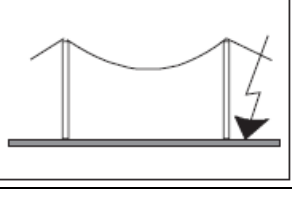
- L1: втрата людського життя (з тимчасовою інвалідністю включно);
- L2: втрата громадських послуг;
- L3: втрата культурного надбання;
- L4: втрата економічної вартості (будівля (споруда), її вміст та втрата активності).

Для потреб ІЕС 62305, лише такі комунальні послуги як газ, вода, телебачення (зокрема, кабельне чи супутникове) та електропостачання розглядаються у якості громадських послуг.

Втрати типів L1, L2 та L3 можуть розглядатися, як соціально значущі, тоді як типу L4 можуть розглядатися, як чисто економічні втрати.

Зв'язок між джерелом небезпеки, типом небезпеки та втратою наведений у таблиці 2.2.

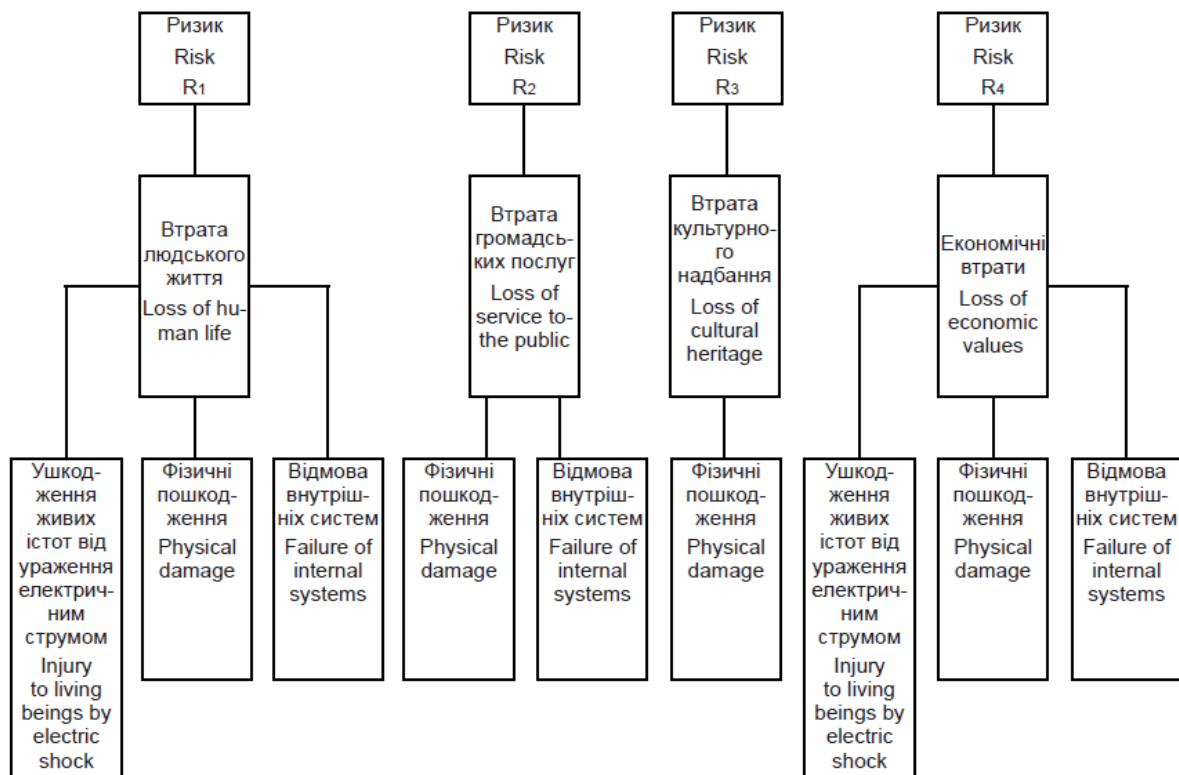
Таблиця 2.2 – Небезпеки та втрати, які стосуються будівлі (споруди) відповідно до різних точок ураження блискавкою

Точка ураження		Джерело пошкодження	Тип пошкодження	Тип втрати
Будівля (споруда)		S1	D1 D2 D3	L1, L4 ^a , L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
Поблизу будівлі (споруди)		S2	D3	L1 ^b , L2, L4
Лінія, приєднана до будівлі (споруди)		S3	D1 D2 D3	L1, L4 ^a , L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
Поблизу лінії		S4	D3	L1 ^b , L2, L4

^a Лише для господарств, якщо можлива загибель тварин...

^b Лише для споруд з ризиком вибуху та для медичних закладів або інших будівель (споруд), де відмова внутрішніх систем спричиняє безпосередню загрозу людському

Типи втрат залежно від типів пошкоджень та відповідних ризиків показано на Рисунку 2.2.



^aЛише для медичних закладів та інших будівель (споруд), де відмова внутрішніх систем спричиняє безпосередню загрозу людському життю.

^bЛише для господарств, якщо можлива втрата тварин.

Рисунок 2.2 - Типи втрат та відповідні ризики залежно від різних типів пошкоджень

2.3. Необхідність та економічне обґрунтування захисту від блискавки

2.3.1 Необхідність захисту від блискавки

Належить оцінити необхідність захисту від блискавки будівлі (споруди), аби зменшити соціальні втрати L1, L2 та L3.

Для того, аби оцінити, потрібен чи ні захист від блискавки будівлі (споруди), належить здійснити оцінювання ризику відповідно до процедур, вміщених у ІЕС 62305-2. Належить взяти до уваги такі ризики відповідно до типів втрат, зазначених у 2.2:

- R1: ризик втрат людського життя або тимчасової інвалідності;
- R2: ризик втрати громадських послуг;
- R3: ризик втрати культурного надбання;
- R4: ризик економічних втрат (належить оцінювати у разі необхідності економічного обґрунтування захисту від блискавки (див. 3.2)).

Захист від блискавки є необхідним, якщо ризик R (від R_1 до R_3) є вищим за припустимий рівень R_T

$$R > R_T \quad (2.1)$$

У цьому випадку належить вжити заходів захисту для зниження ризику R (від R_1 до R_3) до припустимого рівня R_T

$$R \leq R_T \quad (2.2)$$

Якщо виникає понад один тип втрат, умова $R \leq R_T$ має задовольнятися для кожного типу втрат ($L1$, $L2$ та $L3$).

Величини допустимого рівня ризику R_T , коли блискавка може стати причиною втрат соціального значення, встановлюються компетентним національним органом.

Уповноважений орган може встановлювати необхідність захисту від блискавки для конкретних застосувань без необхідності оцінювання ризику. У цих випадках необхідний LPL встановлюється уповноваженим органом. У деяких випадках оцінювання ризику може бути виконано як процедура, що встановлює відмову від цих вимог.

Докладні відомості з оцінювання ризику та процедур вибору заходів захисту наведено у IEC 62305-2.

2.3.2 Економічне обґрунтування захисту від блискавки

Окрім оцінювання необхідності захисту від блискавки будівлі (споруди), яка підлягає захисту, може бути корисним оцінити економічні вигоди від вжиття заходів захисту для зниження економічних втрат $L4$.

У цьому випадку необхідно оцінити ризик $R4$ економічних втрат. Оцінювання ризику $R4$ дозволяє проаналізувати вартість економічних втрат за наявності засобів захисту та без них.

Захист від блискавки є рентабельним, якщо сума вартості C_{RL} залишкових втрат за вжиття заходів захисту та вартості C_{PM} засобів захисту є меншою за вартість C_L загальних втрат без ужиття заходів захисту:

$$C_{RL} + C_{PM} < C_L \quad (2.3)$$

Докладні відомості щодо оцінювання економічної доцільності захисту від блискавки наведено у IEC 62305-2.

2.4. Заходи захисту

2.4.1 Загальні положення

Заходи захисту може бути застосовано для зниження ризику відповідно до типу пошкодження.

2.4.2 Заходи захисту для зменшення загрози для життя внаслідок дії електричного струму

Можливі заходи захисту включають:

- відповідне ізолювання струмопровідних частин, доступних для дотику;
- еквіпотенціалізація за допомогою сітчастої системи уземлення;
- фізичні обмеження й попереджувальні написи;
- еквіпотенційні сполучення блискавки (ЕВ).

Зрівнювання потенціалів та збільшення контактного опору поверхні землі всередині та зовні будівлі (споруди) можуть знизити небезпеку для життя (див. Розділ 8 ІЕС 62305-3:2010).

Заходи захисту є ефективними лише у будівлях (спорудах), захищених LPS.

Використання детекторів грози та вжиття попереджувальних заходів можуть знизити небезпеку для життя.

4.3 Заходи захисту для запобігання фізичному пошкодженню

Захист забезпечується системою захисту від блискавки (LPS), яка включає у себе такі елементи:

- систему перехоплення;
- систему доземних провідників;
- систему земляного закінчення;
- еквіпотенційні сполучення блискавки (ЕВ);
- електричне ізолювання (і, отже, роздільну відстань) від зовнішньої LPS.

У разі встановлення LPS, зрівнювання потенціалів є дуже важливим заходом для зменшення небезпеки пожежі й вибуху та загроз для життя. Більше подробиць містить ІЕС 62305-3.

Заходи, які стримують виникнення та розповсюдження вогню, як то вогнестійкі відсіки, вогнегасники, гідранти, системи пожежного сповіщення та пожежогасіння здатні зменшити фізичні пошкодження.

Захищені шляхи евакуації забезпечують захист персоналу.

2.4.4 Заходи захисту для зменшення відмов електричних та електронних систем

Можливі заходи захисту (SPM) включають:

- заходи із уземлення та сполучення;
- магнетне екранування;
- прокладення ліній;
- ізолювальні інтерфейси;
- координована система SPD.

Ці заходи можуть вживатися поодиночі або у поєднанні. Якщо розглядається джерело небезпеки S1, заходи захисту є ефективними лише у будівлях (спорудах), захищених LPS.

Використання детекторів грози та вжиття попереджувальних заходів можуть зменшити відмови електричних та електронних систем.

2.4.5 Вибір заходів захисту

Заходи захисту, перелічені у п. 4.2, 4.3 та 4.4, створюють разом повний захист від блискавки.

Добір найбільш прийнятних засобів захисту має здійснювати проектувальник заходів захисту та власник будівлі (споруди), яка захищається, відповідно до типу та обсягу кожного з видів пошкоджень, технічних та економічних аспектів різних заходів захисту й результатів оцінювання ризику.

Критерії для оцінювання ризику та вибору найбільш придатних заходів захисту подано у IEC 62305-2.

Засоби захисту є ефективними за умов, що вони відповідають вимогам відповідних стандартів та здатні витримувати умови експлуатації, які очікуються у місці їхнього встановлення.

2.5. Головні критерії захисту будівель (споруд)

2.5.1 Загальні положення

Ідеальним захистом для будівель (споруд) буде вмістити будівлю (споруду), яка підлягає захисту, до уземленого та відмінно струмопровідного суцільного екрану належної товщини та виконати належні сполучення у точці входу до середини екрану ліній, приєднаних до будівлі (споруди).

Це дозволяє запобігти проникненню струму блискавки та пов'язаного 0 електромагнетного поля до будівлі (споруди), яка підлягає захисту, й запобігти небезпечним тепловим та електродинамічним впливам струму, а також іскрінням та перенапругам, небезпечним для внутрішніх систем.

На практиці часто є неможливим та нерентабельним вживати подібних заходів, аби забезпечити такий повний захист.

Недостатня безперервність екрану та/або його невідповідна товщина дозволяють струму блискавки проникати всередину екрану, спричиняючи:

- фізичне ушкодження та небезпеку для життя;
- відмову внутрішніх систем.

Заходи захисту, яких вжито для запобігання таким пошкодженням та відповідним подальшим втратам, мають бути розроблені для певного ряду параметрів струму блискавки, від якої вимагається захист (рівень захисту від блискавки).

2.5.2 Рівні захисту від блискавки (LPL)

Для цілей ІЕС 62305 введено чотири рівні захисту (від I до IV). Для кожного LPL встановлено ряд максимальних й мінімальних параметрів струму блискавки.

Захист від блискавок, максимальний та мінімальний струм яких перевершують параметри, що відповідають LPL I, потребує більш дієвих заходів, які може бути обрано та встановлено на індивідуальній основі.

Імовірність появи блискавки з мінімальними та максимальними параметрами струму, які виходять за межі значень LPL I, не перевершує 2 %.

Максимальні значення параметрів струму блискавки, що відповідають LPL I, не буде перевищено з ймовірністю 99 %. Стосовно прийнятого співвідношення полярності (дивись Розділ А.2, ІЕС 62305) значення, що стосуються позитивних спалахів, матимуть імовірності нижче 10 %, у той час як для негативних спалахів це залишатиметься на рівні нижче 1 % (дивись Розділ А.3, ІЕС 62305).

Максимальні значення параметрів струму блискавки, що відповідають LPL I, зменшуються до 75 % для LPL II, до 50 % - для LPL III та IV (лінійно для I, Q та d_i/d_c , але квадратично для W/R). Часові параметри є незмінними.

Рівні захисту від блискавки, параметри струму якої є нижчими за ті, що стосуються LPL IV, дозволяють розглядати значення імовірності пошкодження, вищі за ті, які представлено у Додатку В ІЕС 62305-2:2012, але їхні значення не є визначеними кількісно, тож вони є корисними для кращого крою заходів захисту задля уникнення необґрунтованих витрат.

Максимальні значення параметрів струму блискавки для різних рівнів захисту від блискавки, які наведено у Таблиці 2.3, використовуються для розроблення компонентів захисту від блискавки (наприклад, поперечний переріз провідників, товщина металевого елементу, максимальний струм SPD, роздільна відстань для запобігання небезпечному іскрінню) та для визначення тестових параметрів, які моделюють вплив блискавки на ці компоненти (дивись Додаток D, ІЕС 62305).

Мінімальні значення амплітуди струму блискавки для різних LPL застосовуються для отримання радіуса сфери, що котиться, (дивись Розділ А. 4, ІЕС 62305) для визначення LPZ 0_B, якої не в змозі досягти прямий удар (п. 5.2 та Рисунки 2.3 та 2.4). Мінімальні значення параметрів струму блискавки разом з відповідними значеннями радіусу сфери, що котиться, подано у Таблиці 2.4. Вони застосовуються для розташування системи перехоплення й визначення LPZ 0_B (дивись п. 5.3).

Таблиця 2.3 – Максимальні значення параметрів блискавки відповідно до LPL

Перший позитивний імпульс			LPL			
Параметри струму	Позначення	Одиниця	I	II	III	IV
Піковий струм	I	kA	200	150	100	
Заряд імпульсу	Q_{SHORT}	Кл	100	75	50	
Питома енергія	W/R	МДж / Ом	10	5,6	2,5	
Часові параметри	T1 / T2	мкс / мкс	10 / 350			
Перший негативний імпульс			LPL			
Параметри струму	Позначення	Одиниця	I	II	III	IV
Піковий струм	I	kA	100	75	50	
Середня крутість	di/dt	кА/мкс	100	75	50	
Часові параметри	T1 / T2	мкс / мкс	1/200			
Наступний імпульс			LPL			
Параметри струму	Позначення	Одиниця	I	II	III	IV
Піковий струм	I	kA	50	37,5	25	
Середня крутість	di/dt	кА/мкс	200	150	100	
Часові параметри	T1 / T2	мкс / мкс	0,25/100			
Довгий удар			LPL			
Параметри струму	Позначення	Одиниця	I	II	III	IV
Заряд довгого удару	Q_{LONG}	Кл	200	150	100	
Часові параметри	T_{LONG}	с	0,5			
Спалах			LPL			
Параметри струму	Позначення	Одиниця	I	II	III	IV
Заряд спалаху	Q_{FLASH}	Кл	300	225	150	

^aВикористання зазначених форм струму стосується лише розрахунків, а не випробувань

Таблиця 2.4 – Мінімальні значення параметрів блискавки та пов'язані з ними значення радіуса сфери, що котиться, відповідно до LPL

Критерій перехоплення			LPL			
	Позначення	Одиниця	I	II	III	IV
Мінімальний піковий струм	I	kA	3	5	10	16
Радіус сфери, що котиться	r	м	20	30	45	60

Зі статистичного розподілу, поданого на Рис. А.5 (IEC 62305), може бути визначено зважену імовірність того, що параметри струму блискавки є меншими за максимальні значення та, відповідно, більшими за мінімальні значення, визначені для кожного з рівнів (таблиця 2.5).

Таблиця 2.5 – Імовірності для меж параметрів струму блискавки

Імовірність того, що параметри струму блискавки	LPL			
	I	II	III	IV
- є меншими за максимальні значення, визначені у Таблиці 2.3	0,99	0,98	0,95	0,95
- є більшими за мінімальні значення, визначені у Таблиці 2.4	0,99	0,97	0,91	0,84

Заходи захисту, зазначені в IEC 62305-3 та IEC 62305-4, є ефективними за блискавки, параметри струму якої є у межах, визначених LPL, прийнятим для проектування. Тому ефективність заходів захисту вважається рівною імовірності того, що параметри струму блискавки лежатимуть у цих межах. Для параметрів, що перевищують ці межі, залишається залишковий ризик пошкодження.

2.5.3 Зони захисту від блискавки (LPZ)

Такі заходи захисту, як LPS, екрановані проводи, магнетні екрани та SPD визначають зони захисту від блискавки (LPZ).

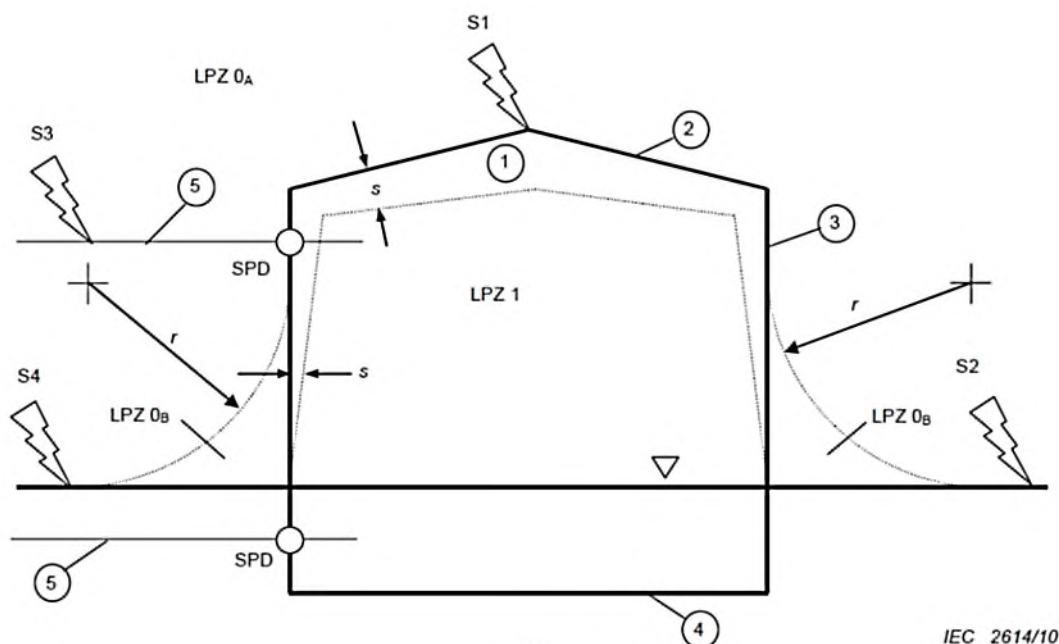
LPZ з більшими номерами засобів захисту характеризуються значним зменшенням LEMP порівняно з LPZ, які позначено меншими номерами.

З огляду на загрозу блискавки визначено такі LPZ (дивись Рисунки 2.4 та 2.5):

LPZ 0_A зона, у якій загроза існує внаслідок прямого спалаху блискавки й повного електромагнетного поля. Внутрішні системи можуть піддаватися впливу сплеску повного або часткового струму блискавки;

LPZ 0_B зона, захищена від прямих спалахів блискавки, але в якій загрозу становить повне електромагнетне поле блискавки. Внутрішні системи можуть піддаватися впливу сплесків часткових струмів блискавки;

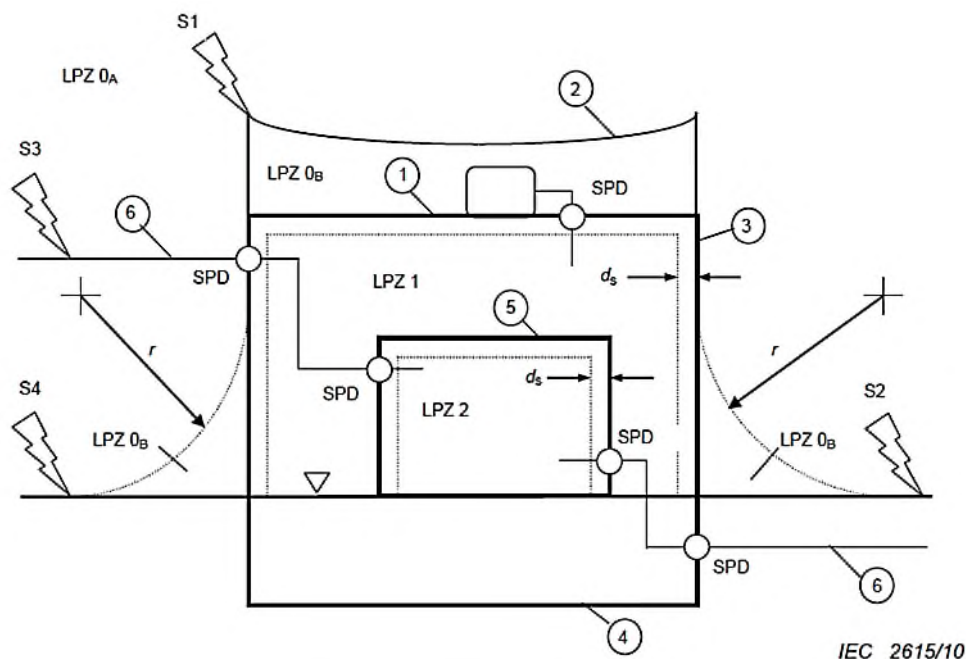
LPZ 2, ..., n зона, у якій струм сплеску може бути додатково обмежено розділенням струму й ізолювальними інтерфейсами та / або SPD на межах. Додаткове просторове екранування може бути використано для подальшого послаблення електромагнетного поля блискавки.



IEC 2614/10

Позначення	
1 будівля (споруда)	S1 спалах у будівлю (споруду)
2 система перехоплення	S2 спалах поблизу будівлі (споруди)
3 система доземних провідників	S3 спалах у лінію, приєднану до будівлі (споруди)
4 система земляного закінчення	S4 спалах поблизу лінії, приєднаної до будівлі (споруди)
5 вхідні лінії	
s роздільна відстань проти небезпечного іскріння	
	позначка землі
	еквіпотенційні сполучення блискавки за допомогою SPD
LPZ 0 _A	прямий спалах, повний струм блискавки
LPZ 0 _B	відсутність прямого спалаху, частковий блискавки або індукований струм
LPZ 1	відсутність прямого спалаху, блискавки або індукований струм у захищеному об'ємі всередині LPZ 1 має бути дотримано роздільної відстані d _s

Рисунок 2.4 – LPZ, визначені LPS (IEC 62305-3)



Позначення

1 будівля (споруда) (екран LPZ 1)

2 система перехоплення

3 система доземних провідників

4 система земляного закінчення

5 приміщення (екран LPZ 2)

6 лінії, приєднані до будівлі (споруди)

S1 спалах у будівлю (споруду)

S2 спалах поблизу будівлі (споруди)

S3 спалах у лінію, приєднану до будівлі (споруди)

S4 спалах поблизу лінії, приєднаної до будівлі (споруди)

r радіус сфери, що котиться

ds безпечна відстань за надто потужного магнетного поля



позначка землі



еквіпотенційні сполучення блискавки за допомогою SPD

LPZ 0A прямий спалах, повний струм блискавки

LPZ 0B відсутність прямого спалаху, частковий блискавки або індукований струм, повне магнетне поле

LPZ 1 відсутність прямого спалаху, обмежений блискавки або індукований струм

LPZ 2 відсутність прямого спалаху, індуковані струми, додатково ослаблене магнетне поле

у захищеному об'ємі всередині LPZ 1 має бути дотримано роздільної відстані d_s

Рисунок 2.5 – LPZ, визначені SPM (IEC 62305-3)

З наведених даних видно, що вищим є номер окремої зони, то нижчими є параметри електромагнетного середовища.

Головне правило захисту, об'єкт, що захищається, має перебувати у LPZ, електромагнетні характеристики якої відповідають спроможності будівлі (споруди) витримувати обтяження, що призводять до пошкодження, якому належить запобігти (фізичне пошкодження, відмова електричних й електронних систем внаслідок перенапруги).

Для більшості електричних й електронних систем та апаратів, відомості про рівень стійкості мають бути надані виробником.

2.5.4. Захист будівель (споруд)

2.5.4.1 Захист для зменшення фізичного пошкодження та небезпеки для життя

Будівля (споруда), що захищається, має перебувати в межах LPZ 0_B або вищої. Це досягається за допомогою системи захисту від блискавки (LPS).

LPS складається як із внутрішньої, так й з зовнішньої систем захисту.

Призначенням зовнішньої LPS є:

- перехопити спалах блискавки у будівлю (споруду) (з допомогою системи перехоплення);
- відвести безпечним чином струм блискавки до землі (з допомогою системи доземних провідників);
- розсіяти його у землі (з допомогою системи земляного закінчення).

Функція внутрішньої LPS полягає у запобіганні небезпечному іскрінню всередині будівлі (споруди), з використанням еквіпотенційного сполучення або роздільної відстані, s , (й, отже, електричне ізолювання) між елементами LPS та іншими струмопровідними елементами всередині будівлі (споруди).

Для класів LPS (I, II, III та IV) визначається набір конструкційних правил, що базуються на відповідних LPL. Кожен набір включає, як залежні від рівня конструкційні правила (приміром, радіус сфери, що котиться, ширина сітки тощо), так й незалежні від рівня (приміром, поперечні перерізи, матеріали тощо).

Там де поверхневий опір ґрунту за межами будівлі (споруди) та підлоги всередині будівлі (споруди) є низьким, загроза для життя внаслідок впливу напруги дотику й крокової напруги знижується:

- за межами будівлі (споруди), ізолюванням відкрито встановлених струмопровідних частин, вирівнюванням потенціалів ґрунту за допомогою сітчастої системи уземлення, попереджувальними написами та фізичними обмеженнями;
- всередині будівлі (споруди), еквіпотенційними з'єднаннями ліній у точці вводу до будівлі (споруди).

2.5.4.2 Захист для зменшення відмов внутрішніх систем

Захист від LEMP для зниження ризику відмови внутрішніх систем має обмежувати:

- сплески внаслідок спалахів блискавки у будівлю (споруду) через резистивне та індуктивне зчеплення;
- сплески внаслідок спалахів блискавки поблизу будівлі (споруди) через індуктивне зчеплення;

- сплески, що передаються лініями, приєднаними до будівлі (споруди), внаслідок спалахів блискавки, у лінії або поблизу них;

- магнетне поле, безпосередньо зчеплене з апаратурою.

Відмовою обладнання через електромагнетні поля, що безпосередньо випромінюються у обладнання, можна знехтувати за умови, що обладнання відповідає вимогам випробувань на радіочастотне (RF) випромінювання й стійкість до завад, встановлених відповідними стандартами з ЕМС (дивись ІЕС 62305-2 та ІЕС 62305-4).

Система, що захищається, має перебувати у LPZ 1 або вищій. Це досягається за допомогою заходів захисту електричних та електронних систем (SPM), яка складається з магнетних екранів, що послаблюють індуковане магнетне поле, яке індукує, та/або відповідного прокладення електропроводні для зменшення площі індукційних петель. На межах LPZ належить передбачати сполучення для металевих частин та систем, які перетинають межі. Ці сполучення може бути виконано сполучними провідниками або, за потреби, за допомогою SPD.

Заходи захисту для кожної LPZ мають відповідати ІЕС 62305-4.

Ефективного захисту від перенапруг, які спричиняють відмову внутрішніх систем, може бути також досягнуто за допомогою ізолювальних інтерфейсів та/або координованої системи SPD, обмежуючи перенапруги нижче значень номінальної імпульсної напруги, яку здатна витримати система, яка захищається.

Ізолювальні інтерфейси та SPD належить добирати та встановлювати відповідно до вимог ІЕС 62305-4.

Література:

1. Тищенко Є.О., Кальченко Я.Ю. Конспект лекцій. Аудит блискавкозахисту будівель і споруд. – Черкаси : НУЦЗУ, 2025. – 118 с.
2. Захист від блискавки. Частина 1. Загальні принципи (EN 623051:2011, IDT): ДСТУ EN 62305-1:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
3. Захист від блискавки. Частина 2. Керування ризиками (EN 623052:2010, IDT): ДСТУ EN 62305-2:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
4. Захист від блискавки. Частина 3. Фізичні руйнування споруд та небезпека для життя людей (EN 62305-3:2011, IDT): ДСТУ EN 62305-3:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
5. Захист від блискавки. Частина 4. Електричні та електронні системи, розташовані в будинках і спорудах (EN 62305-4:2010, IDT): ДСТУ EN 623054:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).

6. Денис О., Степура Ю., Жарков В. Методичні рекомендації з розрахунку та проектування систем блискавкозахисту. Професійний блискавкозахист. – Львів: ТзОВ «ФС блискавкозахист», 2023. – 118с
7. Монтаж пристроїв блискавкозахисту будівель та споруд: навчальний посібник / Ю. П. Войтюк, Д. Г. Писаренко. – Вінниця: ВНТУ, 2021. – 94 с.

Питання для самоконтролю:

1. Для улаштування блискавкозахисту яких об'єктах не застосовується ІЕС 62305?
2. Назвіть основні характеристики будівлі (споруди), які піддається дії блискавки?
3. Назвіть три основні типи пошкоджень, які може спричинити блискавка?
4. Назвіть типи втрат, які можуть виникнути, як наслідок небезпек, що стосуються будівлі (споруди)?
5. Що включають можливі заходи захисту?
6. Назвіть заходи захисту для запобігання фізичному пошкодженню?
7. Назвіть заходи захисту для зменшення відмов електричних та електронних систем?
8. Назвіть зони захисту від блискавки (LPZ)?
9. Що є призначенням зовнішньої LPS?

ЛЕКЦІЯ 3. РІВНІ, ЗОНИ ТА КЛАСИ БЛИСКАВКО ЗАХИСТУ

План

3.1. Поняття про рівні блискавкозахисту LPL

3.2. Розподіл будівлі (споруди) на зони Z_s . Зони захисту від блискавки LPZ

3.3. Класи LPS

3.1. Поняття про рівні блискавкозахисту

Рівень блискавкозахисту (*lightning protection level*) **LPL** – число, пов'язане з таким набором значень параметрів струму блискавки, який відповідає ймовірності того, що взаємопов'язані максимальні та мінімальні значення параметрів проєктних значень не будуть перевищені за блискавки, яка станеться природним чином.

Для цілей IEC 62305 введено чотири рівні захисту (від I до IV). Для кожного LPL встановлено ряд максимальних й мінімальних параметрів струму блискавки.

Необхідність улаштування блискавкозахисту та його рівень визначаються залежно від характеристик будівлі, що розглядається, та повинен враховувати наступне:

- призначення будівлі;
- розміри будівлі (якщо будівля має складну форму, розраховують ширину та довжину прямокутника, в який її можна вписати);
- наявність пожежо- та вибухонебезпечних зон;
- ступінь вогнестійкості будівлі;
- розташування будівлі.

Захист від блискавок, максимальний та мінімальний струм яких перевищують параметри, що відповідають LPL I, потребує більш дієвих заходів, які може бути обрано та встановлено на індивідуальній основі.

Імовірність появи блискавки з мінімальними та максимальними параметрами струму, які виходять за межі значень LPL I, не перевищує 2 %.

Максимальні значення параметрів струму блискавки, що відповідають LPL I, не буде перевищено з ймовірністю 99 %. Стосовно прийнятого співвідношення полярності (відповідно до розділу A.2 ДСТУ EN 62305-1) значення, що стосуються позитивних спалахів, матимуть імовірності нижче 10 %, у той час як для негативних спалахів це залишатиметься на рівні нижче 1 % (відповідно до розділу A.3 ДСТУ EN 62305-1).

Максимальні значення параметрів струму блискавки, що відповідають LPL I, зменшуються до 75 % для LPL II, до 50 % – для LPL III та IV (лінійно для I, Q та di/dt , але квадратично для W/R). Часові параметри є незмінними.

Рівні захисту від блискавки, параметри струму якої є нижчими за ті, що стосуються LPL IV, дозволяють розглядати значення імовірності пошкодження, вищі за ті, які представлено у Додатку B IEC 62305-2:2012,

але їхні значення не є визначеними кількісно, тож вони є корисними для кращого крою заходів захисту задля уникнення необґрунтованих витрат.

Максимальні значення параметрів струму блискавки для різних рівнів захисту від блискавки, які подано у табл. 3.1, використовуються для розроблення компонентів захисту від блискавки (наприклад, поперечного перерізу провідників, товщини бляхи, максимального струму SPD, роздільної відстані для запобігання небезпечному іскрінню) та для визначення тестових параметрів, які моделюють вплив блискавки на ці компоненти.

Таблиця 3.1 – Максимальні значення параметрів блискавки відповідно до LPL

Перший позитивний імпульс First positive impulse			LPL			
Параметри струму Current parameters	Позначення Sumbol	Одиниця Unit	I	II	III	IV
Піковий струм Peak current	I	kA	200	150	100	
Заряд імпульсу Impulse charge	Q _{SHORT}	Кл C	100	75	50	
Питома енергія Specific energy	W/R	МДж/Ом MJ/Ω	10	5,6	2,5	
Часові параметри Time parameters	T ₁ /T ₂	мкс/мкс μs/μs	10/350			
Перший негативний імпульс ^a First negative impulse ^a			LPL			
Параметри струму Current parameters	Позначення Sumbol	Одиниця Unit	I	II	III	IV
Піковий струм Peak current	I	kA	100	75	50	
Середня крутість Average steepness	di/dt	кА/мкс kA/μs	100	75	50	
Часові параметри Time parameters	T ₁ /T ₂	мкс/мкс μs/μs	1/200			
Наступний імпульс Subsequent impulse			LPL			
Параметри струму Current parameters	Позначення Sumbol	Одиниця Unit	I	II	III	IV
Піковий струм Peak current	I	kA	50	37,5	50	
Середня крутість Average steepness	di/dt	кА/мкс kA/μs	200	150	100	
Часові параметри Time parameters	T ₁ /T ₂	мкс/мкс μs/μs	0,25/100			
Довгий удар Long stroke			LPL			
Параметри струму Current parameters	Позначення Sumbol	Одиниця Unit	I	II	III	IV
Заряд довгого удару Long stroke charge	Q _{LONG}	Кл C	200	150	100	
Часові параметри	T _{LONG}	с	0,5			

Time parameters		s				
Спалах Flash			LPL			
Параметри струму Current parameters	Позначення Sumbol	Одиниця Unit	I	II	III	IV
Заряд спалаху Flash charge	Q _{FLASH}	Кл C	300	225	150	
^a Викоритстанння зазначених форм струму стосується лише розрахунків, а не випробувань. ^a The use of this current shape concerns only calculations and not testing.						

Мінімальні значення амплітуди струму блискавки для різних LPL застосовуються для отримання радіуса сфери, що котиться, (відповідно до розділу A.4 ДСТУ EN 62305-1) для визначення LPZ 0B, якої не в змозі досягти прямий удар. Мінімальні значення параметрів струму блискавки разом з відповідними значеннями радіусу сфери, що котиться, подано у табл. 3.2. Вони застосовуються для розставлення системи перехоплення й визначення LPZ 0B.

Таблиця 3.2 – Мінімальні значення параметрів блискавки та пов'язані з ними значення радіуса сфери, що котиться, відповідно до LPL

Критерій перехоплення Interception criteria			LPL			
	Позначення Sumbol	Одиниця Unit	I	II	III	IV
Мінімальний піковий струм Minimum peak current	I	kA	3	5	10	16
Радіус сфери, що котиться Rolling sphere radius	r	м m	20	30	45	60

Для визначення тестових параметрів, які моделюють вплив блискавки на компоненти захисту від блискавки, використовується Додаток D ДСТУ EN 62305-1).

Із статистичного розподілу (рис. 3.1), може бути визначено зважену імовірність того, що параметри струму блискавки є меншими за максимальні значення та, відповідно, більшими за мінімальні значення, визначені для кожного з рівнів (табл. 3.3).

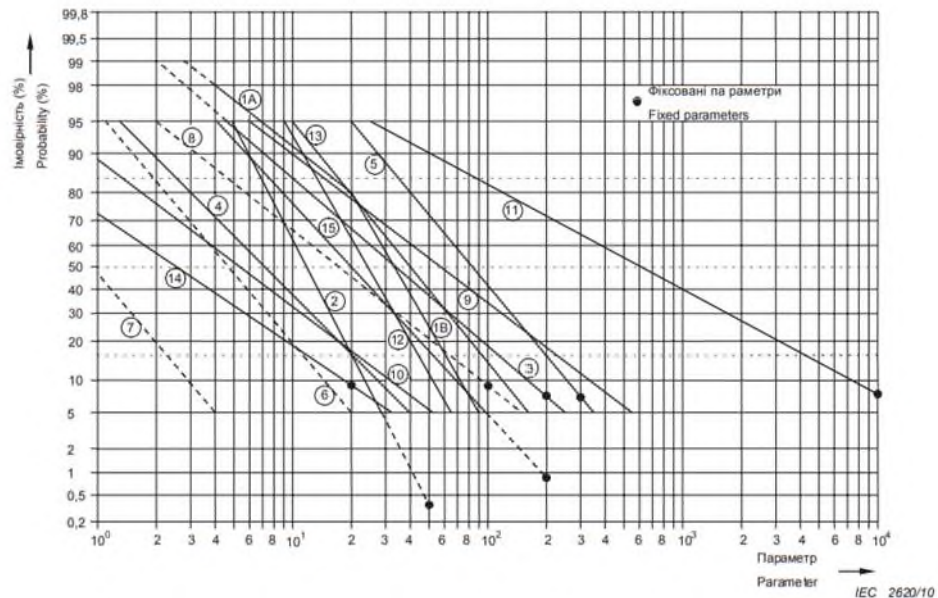


Рисунок 3.1 – Кумулятивний розподіл частот параметрів струму блискавки (лінії для значень 95 % та 5%)

Таблиця 3.3 – Імовірності для меж параметрів струму блискавки

Імовірність того, що параметри струму блискавки Probability that lightning current parameters	LPL			
	I	II	III	IV
- є меншими за максимальні значення, визначені у таблиці 7 - are smaller than the maximum values defined in table 7	0,99	0,98	0,95	0,95
- є меншими за максимальні значення, визначені у таблиці 7 - are greater than the minimum values defined in table 7	0,99	0,97	0,91	0,84

Заходи захисту, зазначені в IEC 62305-3 та IEC 62305-4, є ефективними за блискавки, параметри струму якої є у межах, визначених LPL, прийнятим для проектування. Тому ефективність заходів захисту вважається рівною імовірності того, що параметри струму блискавки лежатимуть у цих межах. Для параметрів, що перевищують ці межі, залишається залишковий ризик пошкодження.

3.2. Розподіл будівлі (споруди) на зони Z_s . зони захисту від блискавки LPZ.

Зона будівлі (споруди) (zone of a structure) Z_s частина будівлі (споруди) з однорідними характеристиками, де лише один набір параметрів залучено до оцінювання складової ризику.

Однозонна будівля (споруда). У цьому випадку визначається лише одна зона Z_s , яка складається з усієї будівлі (споруди). Ризик R є сумою компонентів ризику R_x у цій зоні. Віднесення будівлі (споруди) до єдиної зони може спричинити подорожчання заходів захисту, оскільки кожен захід має поширюватися на всю будівлю (споруду).

Багатозонна будівля (споруда). У цьому випадку будівлю (споруду) розділено на декілька зон Z_s . Ризик для будівлі (споруди) є сумою ризиків,

які стосуються усіх зон будівлі (споруди); у кожній зоні ризик є сумою всіх компонентів у зоні. Поділ будівлі (споруди) на зони дозволяє проєктувальнику брати до уваги характеристики кожної частини будівлі (споруди) під час оцінювання компонентів ризику та добирати найбільш прийнятні заходи захисту, враховуючи зону за зоною, зменшуючи загальну вартість заходів захисту від блискавки.

Секція лінії (*section of a line*) S_L частина лінії (споруди) з однорідними характеристиками, де лише один набір параметрів залучено до оцінювання складової ризику.

Зона захисту від блискавки (*lightning protection zone*) **LPZ** зона, для якої електромагнетне довкілля блискавки є визначеним. Межами LPZ є не обов'язково фізичні межі (приміром стіни, підлога та стеля).

Для оцінювання кожного компоненту ризику будівля (споруда) може бути розділена на зони Z_S з однорідними характеристиками. Однак, будівля (споруда) може бути єдиною зоною або може вважатися єдиною зоною.

Зони Z_S на загал визначаються за:

- типом ґрунту або підлоги (компоненти ризику R_A та R_U);
- протипожежними відсіками (компоненти ризику R_V та R_W);
- просторовими екранами (компоненти ризику R_C та R_M).

Далі зони може бути визначено відповідно до:

- компонування внутрішніх систем (компоненти ризику R_C та R_M);
- заходів захисту, які вже існують або будуть вжиті (усі компоненти ризику);
- вартості втрат L_X (усі компоненти ризику).

Поділ будівлі (споруди) на зони Z_S має враховувати можливість впровадження найбільш прийнятних заходів захисту від блискавки.

Зони Z_S відповідно до цього стандарту можуть бути LPZ відповідно до ДСТУ EN 62305-2. Однак вони також можуть відрізнятися від LPZs.

Основою концепції створення зон захисту від блискавки (LPZ) є принцип ступеневого зменшення імпульсних перенапруг, які можуть виникати під час прямого удару блискавки та вторинних її проявів, до безпечного рівня. Для реалізації цього принципу всю електромережу будинку ділять на зони, в яких має бути створений однаковий рівень перенапруг, що забезпечує обмеження їх впливу.

Зони захисту від блискавки визначаються такими заходами захисту, як система захисту від блискавки (LPS), улаштуванням екранованих проводів, магнетних екранів та пристроїв захисту від імпульсних перенапруг (SPD).

З огляду на загрозу блискавки визначено такі LPZ, що наведено у табл. 3.4 та на рис. 3.2.

Таблиця 3.4 – Зони захисту від блискавки (*lightning protection zone*) LPZ

Зона захисту від блискавки LPZ (<i>lightning protection zone</i>)	Визначення
--	------------

LPZ 0A	зона, у якій загроза існує внаслідок прямого спалаху блискавки й повного електромагнетного поля. Внутрішні системи можуть піддаватися впливу сплеску повного або часткового струму блискавки
LPZ 0B	зона, захищена від прямих спалахів блискавки, але в якій загрозу становить повне електромагнетне поле блискавки. Внутрішні системи можуть піддаватися впливу сплесків часткових струмів блискавки
LPZ 1	зона, у якій струм сплеску обмежено розгалуженням струму й ізолювальними інтерфейсами та / або SPD на межах. Просторове екранування може послаблювати електромагнетне поле блискавки.
LPZ 2, ..., n	зона, у якій струм сплеску може бути додатково обмежено розділенням струму й ізолювальними інтерфейсами та / або SPD на межах зони. Додаткове просторове екранування може бути використано для подальшого послаблення електромагнетного поля блискавки.

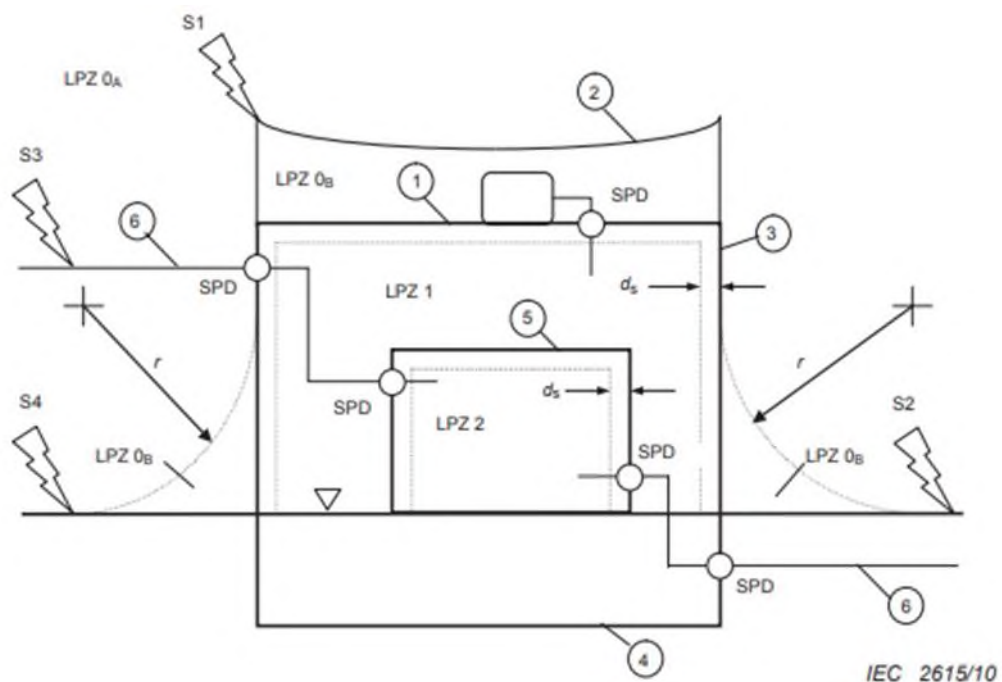


Рис. 3.2 – Зон захисту від блискавки LPZ:

1 – будівля (споруда) (екран LPZ1); 2 – система перехоплення; 3 – система доземних провідників; 4 – система земляного закінчення; 5 – приміщення (екран LPZ 2); 6 – лінії, приєднані до будівлі (споруди);

S1 – спалах у будівлю (споруду); S2 – спалах поблизу будівлі (споруди); S3 – спалах у лінію, приєднану до будівлі (споруди); S4 – спалах поблизу лінії, приєднаної до будівлі (споруди); r – радіус сфери, що котиться; d_s – безпечна відстань занадто потужного магнетного поля.

Головне правило захисту, об'єкт, що захищається, має перебувати у LPZ, електромагнетні характеристики якої відповідають спроможності будівлі (споруди) витримувати обтяження, що призводять до пошкодження, якому належить запобігти (фізичне пошкодження, відмова електричних й електронних систем внаслідок перенапруги).

Для більшості електричних й електронних систем та апаратів, відомості про рівень стійкості мають бути надані виробником.

3.3. Класи LPS

Клас LPS (*class of LPS*) – номер, що позначає класифікацію LPS відповідно до рівня блискавкозахисту, для якого його створено.

Характеристики LPS визначають за характеристиками захищуваної будівлі (споруди) та відповідним рівнем блискавкозахисту.

Стандартом ДСТУ EN 62305-1 визначено чотири класи LPS (від I до IV) відповідно до рівнів захисту від блискавки, як показано в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Співвідношення між рівнями блискавкозахисту (LPL) та класом LPS

LPL	Клас LPS
I	I
II	II
III	III
IV	IV

Кожен клас LPS характеризують такими чинниками.

а) Даними, залежними від класу LPS:

- параметри блискавки (згідно таблиць 3 та 4 ДСТУ EN 62305-1);
- радіус сфери, що котиться, розмір комірки сітки, значення захисного кута;
- типові оптимальні відстані між доземними провідниками;
- роздільча відстань проти небезпечного іскріння;
- мінімальна довжина уземлювальних електродів.

б) Чинниками, незалежними від класу LPS:

- еквіпотенційні сполучення блискавкозахисту;
- мінімальна товщина бляхи чи металевих труб у системі перехоплення;
- матеріали LPS та умови використання;
- матеріал, конфігурації та мінімальні розміри перехоплювачів, доземних провідників та уземлювачів;
- мінімальні розміри сполучних провідників.

Технічні характеристики кожного класу LPS наведено в додатку В EN 62305-2:2012.

Клас необхідної LPS належить вибирати на основі оцінювання ризиків відповідно до ДСТУ EN 62305-2.

Література:

1. Тищенко Є.О., Кальченко Я.Ю. Конспект лекцій. Аудит блискавкозахисту будівель і споруд. – Черкаси : НУЦЗУ, 2025. – 118 с.

2. Захист від блискавки. Частина 1. Загальні принципи (EN 623051:2011, IDT): ДСТУ EN 62305-1:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
3. Захист від блискавки. Частина 2. Керування ризиками (EN 623052:2010, IDT): ДСТУ EN 62305-2:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
4. Захист від блискавки. Частина 3. Фізичні руйнування споруд та небезпека для життя людей (EN 62305-3:2011, IDT): ДСТУ EN 62305-3:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
5. Захист від блискавки. Частина 4. Електричні та електронні системи, розташовані в будинках і спорудах (EN 62305-4:2010, IDT): ДСТУ EN 623054:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
6. Денис О., Степура Ю., Жарков В. Методичні рекомендації з розрахунку та проектування систем блискавкозахисту. Професійний блискавкозахист. – Львів: ТзОВ «ФС блискавкозахист», 2023. – 118с
7. Монтаж пристроїв блискавкозахисту будівель та споруд: навчальний посібник / Ю. П. Войтюк, Д. Г. Писаренко. – Вінниця: ВНТУ, 2021. – 94 с.

Питання для самооцінювання.

1. Дайте визначення поняття «Рівень блискавкозахисту».
2. Дайте визначення поняття «Зона будівлі (споруди)».
3. Дайте визначення поняття «Зона захисту від блискавки».
4. Дайте визначення поняття «Клас LPS».
5. Які характеристики будівлі враховуються під час визначення рівня блискавкозахисту?
6. З якою метою здійснюється поділ будівлі на зони?
7. Дайте визначення зони «LPZ 0A».
8. Дайте визначення зони «LPZ 0B».
9. Дайте визначення зони «LPZ 1».
10. Дайте визначення зони «LPZ 2».
11. Якими чинниками характеризуються класи LPS?

ЛЕКЦІЯ 4. РИЗИКИ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ БЛИСКАВКОЗАХИСТУ.

План

- 4.1. Терміни та визначення
- 4.2. Загальні положення оцінки ризиків при проектуванні блискавкозахисту
- 4.3. Порядкування ризиком

4.1. Терміни та визначення

Необхідність захисту, економічні переваги при встановленні засобів захисту та вибір адекватних захисних засобів має бути визначено у термінах порядкування ризиками. Порядкування ризиками є предметом розгляду ІЕС 62305-2. Захисні заходи, які розглядаються у ІЕС 62305, є такими, ефективність яких у зниженні ризику є доведеною.

Терміни та визначення, що наведені у цій лекції, надані у відповідності ДСТУ ІЕС 62305-2:

Захищена будівля (споруда) (structure to be protected) будівля (споруда), для якої вимагається захист від впливу блискавки відповідно до ДСТУ ІЕС 62305-2.

Загрозлива подія (dangerous event) спалах блискавки до будівлі (споруди) або поблизу будівлі (споруди), яка підлягає захисту, до або поблизу лінії, приєднаної до будівлі (споруди), яка підлягає захисту, який може спричинити пошкодження.

Спалах блискавки до будівлі (споруди) (lightning flash to a structure) спалах блискавки, що влучає до будівлі (споруди), яка підлягає захисту.

Спалах блискавки поблизу будівлі (споруди) (lightning flash near a structure) спалах блискавки, що влучає так близько від будівлі (споруди), яка підлягає захисту, що це може спричинити небезпечні перенапруги.

Спалах блискавки до лінії (lightning flash to a line) спалах блискавки, що влучає до лінії, приєднаної до будівлі (споруди), яка підлягає захисту.

Спалах блискавки поблизу лінії (lightning flash near a line) спалах блискавки, що влучає так близько до лінії, приєднаної до будівлі (споруди), яка підлягає захисту, що це може спричинити небезпечні перенапруги.

Число загрозливих подій внаслідок спалаху до будівлі (споруди) (number of dangerous events due to flashes to a structure) N_D очікуване середньорічне число загрозливих подій, внаслідок спалаху блискавки до будівлі (споруди).

Число загрозливих подій внаслідок спалахів до лінії (number of dangerous events due to flashes to a line) N_L очікуване середньорічне число загрозливих подій внаслідок спалахів блискавки до лінії.

Число загрозливих подій внаслідок спалахів поблизу будівлі (споруди) (number of dangerous events due to flashes near a structure) N_M очікуване середньорічне число загрозливих подій внаслідок спалахів блискавки поблизу будівлі (споруди).

Число небезпечних подій внаслідок спалахів поблизу лінії (number

of dangerous events due to flashes near a line) N_I очікуване середньорічне число небезпечних подій внаслідок спалахів блискавки поблизу лінії.

Електромагнетний імпульс блискавки (lightning electromagnetic impulse) LEMP усі електромагнетні впливи струму блискавки резистивними, індуктивними та ємнісними зв'язками, які створюють хвилі та електромагнетні поля.

Фізичне пошкодження (physical damage) пошкодження будівлі (споруди) (або її вмісту) внаслідок механічної, теплової, хімічної або вибухової дії блискавки.

Ушкодження живих істот (injury to living beings) каліцтва або забиття людей або тварин електричним струмом напруги дотику та крокової напруги, спричинених блискавкою.

Ймовірність пошкодження (probability of damage) P_x ймовірність того, що загрозна подія може заподіяти шкоду для будівлі (споруди), яка підлягає захисту, для вмісту цієї будівлі (споруди).

Втрата (loss) L_x середній обсяг втрат (людей і товарів) як наслідок зазначеного типу пошкодження в результаті загрозливої події стосовно цінності (люди та товари) будівлі (споруди), яка має бути захищена.

Ризик (risk) R значення ймовірних щорічних втрат (люди та товари) через блискавку відносно загальної цінності (люди та товари) будівлі (споруди), яка має бути захищена

Компонент ризику (risk component) R_x частковий ризик залежно від джерела й типу пошкоджень.

Припускний (припустимий) ризик (tolerable risk) R_T максимальне значення ризику, який може бути припущений для будівлі (споруди), яка підлягає захисту.

Заходи захисту (protection measures) заходи, яких має бути вжито у будівлі (споруді), яка має бути захищена, аби знизити ризик.

Блискавкозахист (lightning protection) LP завершена система для захисту будівлі (споруди) від блискавки, включно із їхніми внутрішніми системами і вмістом, а також осіб, що на загал складається з LPS та SPM.

Система блискавкозахисту (lightning protection system) LPS завершена система захисту від блискавки, призначена для зменшення фізичних пошкоджень будівель (споруд) від спалахів блискавки до будівлі (споруди). Вона складається із зовнішньої і внутрішньої систем захисту.

Заходи захисту від електромагнетного імпульсу блискавки (LEMP protection measures) SPM заходи, що вживаються для захисту внутрішніх систем від впливу LEMP. Це є частиною загального блискавкозахисту.

Пристрій захисту від імпульсних перенапруг (surge protective device) SPD пристрій, призначений для обмеження перехідних перенапруг й відведення хвильових струмів; містить принаймні один нелінійний компонент.

Координована система SPD (coordinated SPD system) SPD, відповідно добрані, координовані та встановлені у вигляді системи, призначеної для зменшення відмов електричних та електронних систем.

Еквіпотенційне сполучення блискавкозахисту (lightning equipotential bonding) ЕВ сполучення з LPS відокремлених металевих частин, безпосередньо електричними злучниками або через пристрої захисту від імпульсних перенапруг, для зниження різниці електричних потенціалів, спричинених струмом блискавки.

4.2. Загальні положення оцінки ризиків при проектуванні блискавкозахисту

Для того, аби оцінити, потрібен чи ні захист від блискавки будівлі (споруди), належить здійснити оцінювання ризику відповідно до процедур, вміщених у IEC 62305-2.

Належить взяти до уваги такі ризики відповідно до типів втрат:

- **R1:** ризик втрат людського життя або тимчасової інвалідності;
- **R2:** ризик втрати громадських послуг;
- **R3:** ризик втрати культурного надбання.
- **R4:** ризик економічних втрат (належить оцінити у разі необхідності економічного обґрунтування захисту від блискавки).

Захист від блискавки є необхідним, якщо ризик R (від R_1 до R_3) є вищим за припустимий рівень R_T :

$$R > R_T \quad (4.1)$$

У цьому випадку належить вжити заходів захисту для зниження ризику R (від R_1 до R_3) до припустимого рівня R_T .

$$R \leq R_T \quad (4.2)$$

Якщо виникає понад один тип втрат, умова $R \leq R_T$ має задовольнятися для кожного типу втрат (L_1 , L_2 та L_3).

Окрім оцінювання необхідності захисту від блискавки будівлі (споруди), яка підлягає захисту, може бути корисним оцінити економічні вигоди від вжиття заходів захисту для зниження економічних втрат L_4 .

У цьому випадку необхідно оцінити ризик R_4 економічних втрат. Оцінювання ризику R_4 дозволяє проаналізувати вартість економічних втрат за наявності засобів захисту та без них.

Заходи захисту може бути застосовано для зниження ризику відповідно до типу пошкодження (лекція 2).

Можливі заходи захисту для зменшення загрози для життя внаслідок дії електричного струму включають:

- відповідне ізолювання струмопровідних частин, доступних для дотику;
- еквіпотенціалізація за допомогою сітчастої системи уземлення;
- фізичні обмеження й попереджувальні написи;

- еквіпотенційні сполучення блискавки (EB).

Заходи захисту для запобігання фізичному пошкодженню забезпечуються системою захисту від блискавки (LPS), яка включає у себе такі особливості:

- систему перехоплення;
- систему доземних провідників;
- систему земляного закінчення;
- еквіпотенційні сполучення блискавки (EB);
- електричне ізолювання (і, отже, роздільну відстань) від зовнішньої LPS.

Можливі заходи захисту для зменшення відмов електричних та електронних систем (SPM) включають:

- заходи із уземлення та сполучення;
- магнетне екранування;
- прокладення ліній;
- ізолювальні інтерфейси;
- координована система SPD.

Ці заходи можуть уживатися поодиноці або у поєднанні.

Перелічені заходи захисту, створюють разом повний захист від блискавки.

Добір найбільш прийнятних засобів захисту має здійснювати проектувальник заходів захисту та власник будівлі (споруди), яка захищається, відповідно до типу та обсягу кожного з видів пошкоджень, технічних та економічних аспектів різних заходів захисту й результатів оцінювання ризику.

Критерії для оцінювання ризику та вибору найбільш придатних заходів захисту подано у IEC 62305-2.

Засоби захисту є ефективними за умов, що вони відповідають вимогам відповідних стандартів та здатні витримувати обтяження, які очікуються у місці їхнього встановлення.

Заходи захисту, зазначені в IEC 62305-3 та IEC 62305-4, є ефективними за блискавки, параметри струму якої є у межах, визначених LPL, прийнятим для проектування. Тому ефективність заходів захисту вважається рівною імовірності того, що параметри струму блискавки лежатимуть у цих межах. Для параметрів, що перевищують ці межі, залишається залишковий ризик пошкодження.

4.3. Порядкування ризиком

4.3.1. Основні компоненти ризику

Компоненти ризику для будівлі (споруди) за спалаху блискавки до будівлі (споруди):

R_A: Компонент, пов'язаний з втратою життя з причини ураження електричним струмом внаслідок виникнення напруги дотику та крокової напруги всередині будівлі (споруди) та зовні у зонах до 3 м від доземних

провідників. Втрати типу L1 і, у випадку, коли у будівлі (споруді) утримуються свійські тварини, також можуть виникати втрати типу L4 з можливою загибеллю тварин. У спеціальних будівлях (спорудах) люди можуть зазнати загрози від прямого удару блискавки (наприклад, на горішніх поверхах автостоянок чи на стадіонах). Ці випадки також можуть бути розглянуті з використанням принципів стандарту ДСТУ ІЕС 62305-2.

R_B: Компонент, пов'язаний з фізичним пошкодженням внаслідок небезпечного іскріння всередині будівлі (споруди), що спричиняє пожежу або вибух, які можуть загрожувати довкіллю. Можуть виникати усі типи втрат (L1, L2, L3 та L4).

R_C: Компонент, пов'язаний з відмовою внутрішніх систем, викликану LEMP. Втрати типу L2 та L4 можуть трапитися у всіх випадках разом з типом L1 для будівлі (споруди) з ризиком вибуху, а також лікарень або інших будівель (споруд), де відмова внутрішніх систем негайно створює загрозу для людського життя.

Компоненти ризику для будівлі (споруди) за спалаху блискавки поблизу будівлі (споруди):

R_M: Компонент, пов'язаний з відмовою внутрішніх систем, спричиненою LEMP. Втрати типу L2 та L4 можуть виникати у всіх випадках разом з втратами типу L1 для будівель (споруд) з ризиком вибуху, а також лікарень або інших будівель (споруд), де відмова внутрішніх систем негайно створює загрозу для людського життя.

Компоненти ризику для будівлі (споруди) за спалаху блискавки до лінії, приєднаної до будівлі (споруди):

R_U: Компонент, пов'язаний з ураженням електричним струмом внаслідок виникнення напруги дотику та крокової напруги всередині будівлі (споруди). Також можуть виникати втрати типу L1 та втрати типу L4 з можливою загибеллю тварин.

R_V: Компонент, пов'язаний з фізичним пошкодженням (пожежа або вибух внаслідок небезпечного іскріння між зовнішніми конструкціями та металевими частинами переважно у точці уводу лінії до будівлі (споруди)) внаслідок протікання струму блискавки через або вздовж входних ліній. Можуть виникати усі типи втрат (L1, L2, L3 та L4).

R_W: Компонент, пов'язаний з відмовою внутрішніх систем, спричиненою перенапругами, які індикуються на входних лініях та затікають до будівлі (споруди). Втрати типу L2 та L4 можуть виникати у всіх випадках разом з втратами типу L1 для будівель (споруд) з ризиком вибуху та для лікарень або інших будівель (споруд) де відмова внутрішніх систем негайно створює загрозу для людського життя.

Компонент ризику для будівлі (споруди) за спалаху блискавки поблизу лінії, приєднаної до будівлі (споруди):

R_Z: Компонент, пов'язаний з відмовою внутрішніх систем, спричиненою перенапругами, які індукуються на входних лініях та затікають до будівлі (споруди). Втрати типу L2 та L4 можуть виникати у всіх випадках разом з втратами типу L1 у разі будівель (споруд) з небезпекою вибуху та для

лікарень або інших будівель (споруд), де відмова внутрішніх систем негайно створює загрозу для людського життя.

4.3.2 Склад компонентів ризику

Компоненти ризику, які належить розглядати для кожного виду втрат у будівлі (споруді), подано нижче:

R1: Ризик втрати людського життя:

$$R1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1}^{1)} + R_{M1}^{1)} + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1}^{1)} + R_{Z1}^{1)}. \quad (4.3)$$

¹⁾ Лише для будівель (споруд) з ризиком вибуху, для лікарень з електроустаткуванням підтримування життя або інших будівель (споруд), де відмова внутрішніх систем негайно створює загрозу для людського життя.

R2: Ризик втрати можливості надання громадських послуг:

$$R2 = R_{B2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{V2} + R_{W2} + R_{Z2}. \quad (4.4)$$

R3: Ризик втрати культурної спадщини:

$$R3 = R_{B3} + R_{V3}. \quad (4.5)$$

R4: Ризик втрати економічної цінності:

$$R4 = R_{A4}^{2)} + R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{U4}^{2)} + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4}. \quad (4.6)$$

²⁾ Лише для господарств, де можлива втрата тварин.

Компоненти ризику відповідно до кожного типу втрат також зведено до табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Компоненти ризику, які слід враховувати для кожного виду втрат у будівлі (споруді)

Джерело пошкодження	Спалах до будівлі (споруди) S1			Спалах поблизу будівлі (споруди) S2	Спалах до лінії, приєднаної до будівлі (споруди) S3			Спалах поблизу лінії, приєднаної до будівлі (споруди) S4
	R _A	R _B	R _C	R _M	R _U	R _V	R _W	R _Z
Складова ризику								
Ризик для кожного виду втрат:								
R1	*	*	* ^a	* ^a	*	*	* ^a	* ^a
R2		*	*	*		*	*	*
R3		*				*		*

R4	*^b	*	*	*	*^b	*	*	
^a Лише для будівель (споруд) з небезпекою виникнення вибуху, для лікарень або інших будівель (споруд), де відмова внутрішніх систем негайно створює загрозу загибелі та травмування людей. ^b Лише для господарств, де існує небезпека загибелі тварин.								

Характеристики будівель (споруд) та можливі заходи захисту, що знижують компоненти ризику для будівель (споруд), наведені у табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Фактори, які впливають на компоненти ризику

Характеристики будівлі (споруди) або внутрішніх систем. Заходи захисту	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Площа збирання	X	X	X	X	X	X	X	X
Поверхневий опір ґрунту	X							
Питомий опір підлоги	X				X			
Фізичні обмеження, ізолювання, попереджувальні написи, еквіпотенціалізація ґрунту	X				X			
LPS	X	X	X	X ^a	X ^b	X ^b		
Сполучні SPD	X	X			X	X		
Ізолювальні інтерфейси			X ^c	X ^c	X	X	X	X
Координована система SPD			X	X			X	X
Просторовий екран			X	X				
Екранування зовнішніх ліній					X	X	X	X
Екранування внутрішніх ліній			X	X				
Запобіжні заходи маршрутизації			X	X				
Сполучна мережа			X					
Заходи протипожежного захисту		X				X		
Ступінь займистості		X				X		
Особливі види небезпеки		X				X		
Імпульсна витримувана напруга			X	X	X	X	X	X
^a Лише за наявності зовнішніх LPS у вигляді сітки. ^b Завдяки еквіпотенційним сполученням. ^c Лише якщо вони є частиною устаткування.								

Отже, ризик – це значення ймовірного річного збитку. Під терміном «керуванням ризиком» розуміють застосування можливих заходів захисту від блискавки з метою зниження ризику до допустимого значення. Задля досягнення цієї мети здійснюють оцінювання ризику для об'єктів внаслідок влучання блискавки та порівняння з прийнятним (припустимим) ризиком.

Література:

1. Тищенко Є.О., Кальченко Я.Ю. Конспект лекцій. Аудит блискавкозахисту будівель і споруд. – Черкаси : НУЦЗУ, 2025. – 118 с.
2. Захист від блискавки. Частина 1. Загальні принципи (EN 623051:2011, IDT): ДСТУ EN 62305-1:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).

3. Захист від блискавки. Частина 2. Керування ризиками (EN 623052:2010, IDT): ДСТУ EN 62305-2:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
4. Захист від блискавки. Частина 3. Фізичні руйнування споруд та небезпека для життя людей (EN 62305-3:2011, IDT): ДСТУ EN 62305-3:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
5. Захист від блискавки. Частина 4. Електричні та електронні системи, розташовані в будинках і спорудах (EN 62305-4:2010, IDT): ДСТУ EN 623054:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
6. Денис О., Степура Ю., Жарков В. Методичні рекомендації з розрахунку та проектування систем блискавкозахисту. Професійний блискавкозахист. – Львів: ТзОВ «ФС блискавкозахист», 2023. – 118с
7. Монтаж пристроїв блискавкозахисту будівель та споруд: навчальний посібник / Ю. П. Войтюк, Д. Г. Писаренко. – Вінниця: ВНТУ, 2021. – 94 с.

Питання для самооцінювання

1. Дайте визначення поняття «Ризик».
2. Дайте визначення поняття «Компонент ризику».
3. Дайте визначення поняття «Припускний (припустимий) ризик».
1. Навести класифікацію ризиків відповідно до типів втрат.
2. Наведіть необхідну умову улаштування захисту від блискавки.
3. Наведіть можливі заходи захисту для зменшення загрози для життя внаслідок дії електричного струму.
4. Наведіть заходи захисту для запобігання фізичному пошкодженню, що забезпечуються системою захисту від блискавки (LPS).
5. Наведіть можливі заходи захисту для зменшення відмов електричних та електронних систем (SPM).
6. Наведіть компоненти ризику для будівлі (споруди) за спалаху блискавки до будівлі (споруди):
7. Наведіть компонент ризику для будівлі (споруди) за спалаху блискавки поблизу будівлі (споруди):
8. Наведіть компоненти ризику для будівлі (споруди) за спалаху блискавки до лінії, приєднаної до будівлі (споруди):
9. Наведіть компонент ризику для будівлі (споруди) за спалаху блискавки поблизу лінії, приєднаної до будівлі (споруди)
10. Наведіть компоненти ризику, які належить розглядати для ризику втрати людського життя.
11. Наведіть компоненти ризику, які належить розглядати для ризику Ризик втрати можливості надання громадських послуг.
12. Наведіть компоненти ризику, які належить розглядати для ризику втрати культурної спадщини.
13. Наведіть компоненти ризику, які належить розглядати для ризику втрати економічної цінності.

ЛЕКЦІЯ 5. ОЦІНЮВАННЯ КОМПОНЕНТІВ РИЗИКІВ

План

5.1. Процедури порядкування ризиком

5.2. Оцінювання компонентів ризику

5.1. Процедури порядкування ризиком

Базова процедура.

При порядкуванні ризиком за базової процедури повинна бути застосована наступна послідовність:

- ідентифікація будівлі (споруди), що підлягає захисту, та її характеристик;
- ідентифікація всіх типів втрат у будівлі (споруді) та відповідного ризику R ($R_1 - R_4$);
- оцінювання ризику R для кожного типу втрат $R_1 - R_4$;
- оцінювання потреб у захисті шляхом порівняння ризику R_1 , R_2 та R_3 з припускним ризиком R_T ;
- оцінювання економічної ефективності заходів захисту шляхом порівняння загальної суми втрат із застосуванням заходів захисту та без них.

У цьому випадку для оцінювання таких втрат має бути виконано оцінювання складових ризику R_4 (див. Додаток D ДСТУ ІЕС 62305-2).

Для оцінювання ризику у будівлі (споруді) повинні бути розглянуті:

- будівля (споруда);
- устаткування та установки у будівлі (споруді);
- вміст будівлі (споруди);
- присутність людей у будівлі (споруді) або назовні у межах відстані до 3 м від будівлі (споруди);
- оточення, на яке впливає пошкодження будівлі (споруди).

Захист не охоплює приєднані лінії за межами будівлі (споруди).

Особлива процедура оцінювання потреб захисту від блискавки.

Відповідно до ДСТУ EN 62305-1:2012, належить розглянути ризики R_1 , R_2 та R_3 для оцінювання потреби у захисті від блискавки.

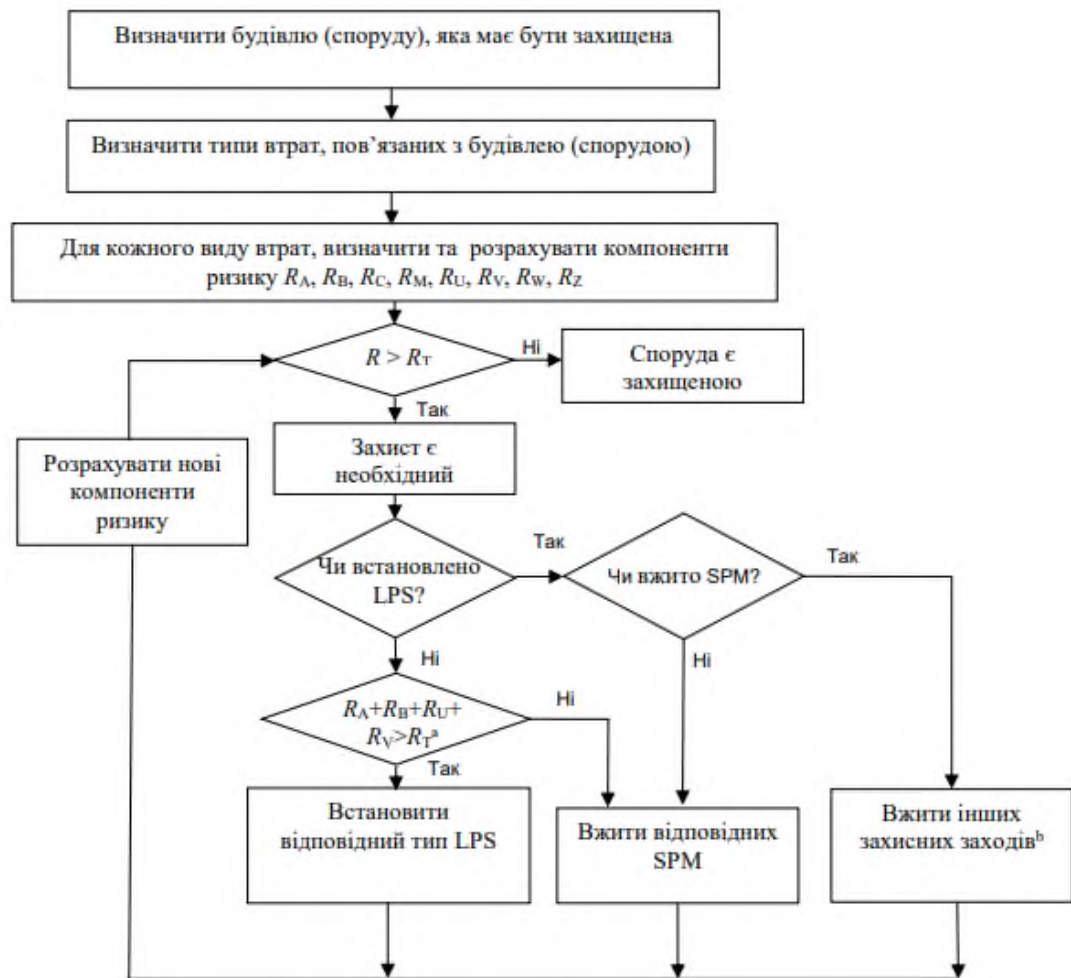
Для кожного ризику, що розглядається, належить виконати такі кроки:

- ідентифікація складових R_X , які складають ризик;
- розрахунок визначених складових ризику R_X ;
- розрахунок загального ризику R ;
- визначення припускного ризику R_T ;
- порівняння ризику R з припускним значенням R_T .

Якщо $R \leq R_T$, захист від блискавки не є необхідним.

Якщо $R > R_T$, належить вжити заходів захисту аби зменшити $R \leq R_T$ для усіх ризиків, які стосуються відповідної будівлі (споруди).

Процедуру оцінювання потреб у захисті подано на рис. 5.1.



^a якщо $R_A + R_B < R_T$, повна LPS не є необхідною; у цьому випадку достатньо встановити один або кілька SPD відповідно до ДСТУ EN 62305-3.

^b Згідно факторів, які впливають на компоненти ризику за табл. 4.2.

Рисунок 5.1 – Порядок визначення необхідності захисту та добору заходів захисту

Припускний (припустимий) ризик R_T

Відповідальність щодо визначення розміру припускового ризику належить до юрисдикції уповноваженого органу. Типові значення припускового ризику R_T , де спалахи блискавки пов'язані з втратою людського життя або втратою соціальних чи культурних цінностей, наведено у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Типові значення припускового ризику R_T

Типи втрат		R_T (рік ⁻¹) (y ⁻¹)
L1	Втрати, пов'язані із загибеллю та травмуванням людей	10^{-5}
L2	Втрата громадських послуг	10^{-3}
L3	Втрата культурної спадщини	10^{-4}

Принципово, щодо втрати економічної цінності (L4), шлях, яким слід рухатись, є порівняння витрат і вигод, наведених у Додатку D ДСТУ ІЕС 62305-2. Коли дані для цього аналізу не є доступними, належить використовувати рекомендоване значення припускового ризику $R_T = 10^{-3}$.

Процедура оцінювання економічної ефективності захисту від блискавки.

Окрім потреби у захисті від блискавки будівлі (споруди), може бути корисним з'ясувати економічні переваги встановлення заходів захисту для зниження економічних втрат L_4 .

Оцінювання складових ризику R_4 дозволяє користувачеві оцінити вартість економічних втрат із застосуванням прийнятих заходів захисту та без них (див. Додаток D ДСТУ EN 62305-2).

Процедура з'ясування економічної ефективності захисту від блискавки вимагає:

- ідентифікації компонентів R_X , які складають ризик R_4 ;
- розрахунку визначених складових ризику R_X за відсутності нових / додаткових заходів захисту;
- розрахунку річної вартості втрат для кожного з компонентів ризику R_X ;
- розрахунку річної вартості C_L загальних втрат за відсутності заходів захисту;
- прийняття вибраних заходів захисту;
- розрахунку складових ризику R_X за наявності обраних заходів захисту;
- розрахунку річної вартості залишкових втрат для кожного компоненту ризику R_X у будівлі (споруді), що захищається;
- розрахунку річної повної вартості C_{RL} залишкових втрат за наявності обраних заходів захисту;
- розрахунку річної вартості C_{PM} обраних заходів захисту;
- порівняння вартостей.

Якщо $C_L < C_{RL} + C_{PM}$, то захист від блискавки може вважатися нерентабельним.

Якщо $C_L \geq C_{RL} + C_{PM}$, то заходи захисту можуть бути визнані здатними заощадити гроші протягом життєвого циклу будівлі (споруди).

Схему процедури оцінювання економічної ефективності захисту подано на рис 5.2.

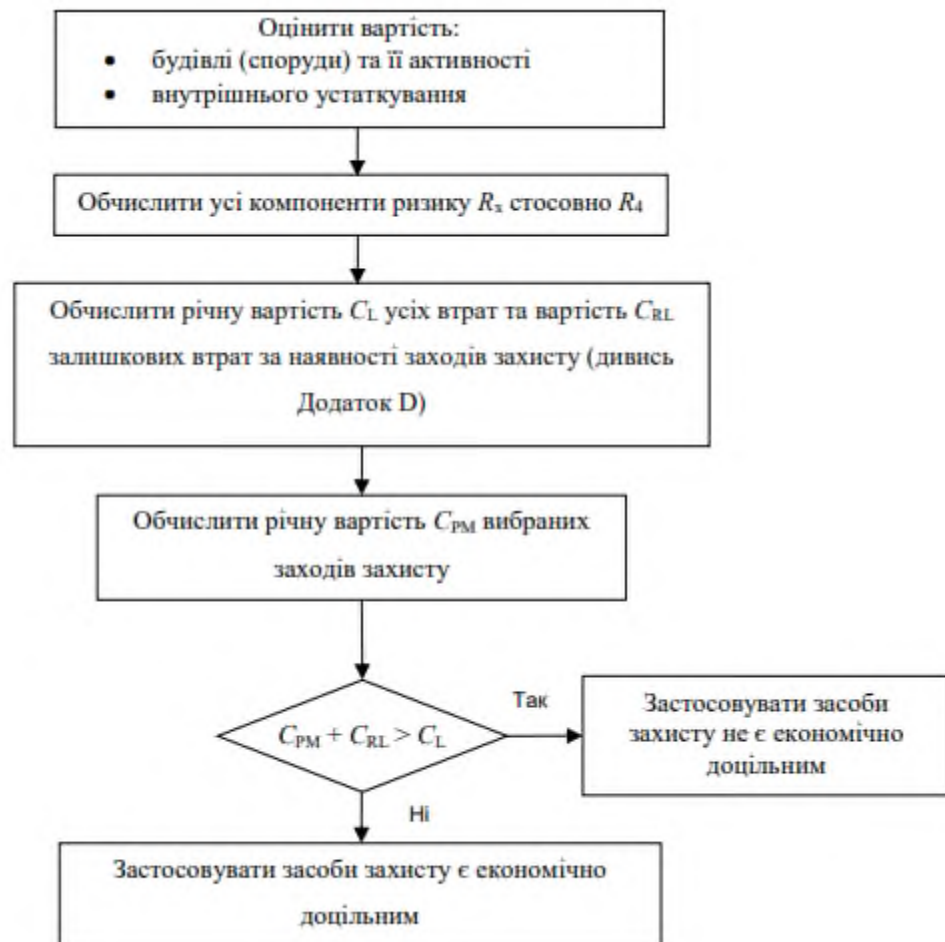


Рисунок 5.2 – Процедура оцінювання економічної ефективності заходів захисту

Може бути корисним оцінити різні варіанти комбінування заходів захисту, аби знайти оптимальне рішення з огляду їхньої економічної ефективності.

5.2. Оцінювання компонентів ризику

Базове рівняння.

Кожен компонент ризику R_A , R_B , R_C , R_M , R_U , R_V , R_W та R_Z , може бути виражений наступним загальним рівнянням:

$$R_x = N_x \times P_x \times L_x. \quad (5.1)$$

де: N_x – число загрозливих подій на рік (визначається за додатком А ДСТУ EN 62305-2);

P_x – ймовірність пошкодження будівлі (споруди) (визначається за додатком В ДСТУ EN 62305-2);

L_x – непрямі втрати (визначається за додатком С ДСТУ EN 62305-2).

Число N_x загрозливих подій залежить від густини спалахів блискавки до землі (N_G) та від фізичних характеристик будівлі (споруди), що захищається, її оточення, приєднаних ліній та ґрунту.

Ймовірність пошкоджень R_X залежить від характеристик будівлі (споруди), яка має бути захищена, приєднаних ліній та передбачених заходів захисту.

Непрямі втрати L_X залежать від призначення будівлі (споруди), присутності в ній персоналу, типу послуг, що надаються громадськості, вартості товарів, які було пошкоджено, та заходів, передбачених для зменшення розміру втрат.

Коли пошкодження будівлі (споруди), спричинене блискавкою, може також охопити навколишні будівлі (споруди) або довкілля (приміром хімічні або радіоактивні викиди), то такі непрямі втрати належить додати до L_X .

Для оцінювання компонентів ризику за спалахів блискавки до будівлі (споруди) (S1) застосовують такі співвідношення:

- компонент, пов'язаний із загрозою для живих істот від ураження електричним струмом (D1):

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A. \quad (5.2)$$

- компонент, пов'язаний із фізичним пошкодженням (D2):

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B. \quad (5.3)$$

- компонент, пов'язаний зі збоєм внутрішніх систем (D3):

$$R_C = N_D \times P_C \times L_C. \quad (5.4)$$

Параметри для оцінювання цих компонентів ризику подано у табл. 5.2.

Для оцінювання компоненту ризику за спалахів блискавки поблизу будівлі (споруди) (S2) застосовують таке співвідношення:

- компонент, пов'язаний зі збоєм внутрішніх систем (D3):

$$R_M = N_M \times P_M \times L_M. \quad (5.5)$$

Параметри для оцінювання цього компоненту ризику подано у табл. 5.2.

Для оцінювання компонентів ризику за спалахів блискавки до вхідної лінії, приєднаної до будівлі (споруди) (S3) застосовують такі співвідношення:

- компонент, пов'язаний із загрозою для живих істот від ураження електричним струмом (D1):

Таблиця 5.2 – Параметри, що стосуються оцінювання компонентів ризику

Символ	Найменування	Значення згідно з пунктом ДСТУ EN 62305-2
--------	--------------	---

Середньорічне число небезпечних подій внаслідок спалахів		
N_D	– до будівлі (споруди)	A.2
N_M	– поблизу будівлі (споруди)	A.3
N_L	– до лінії, приєднаної до будівлі (споруди)	A.4
N_I	– поблизу лінії, приєднаної до будівлі (споруди)	A.5
N_{DJ}	– до сусідньої будівлі (споруди)	A.2 (Рисунок А.5)
Ймовірність того, що спалах до будівлі (споруди) призведе до:		
P_A	– ураження живих істот електричним струмом	B.2
P_B	– фізичних пошкоджень	B.3
P_C	– збою внутрішніх систем	B.4
Ймовірність того, що спалах поблизу будівлі (споруди) призведе до:		
P_M	– збоїв у роботі внутрішніх систем	B.5
Ймовірність того, що спалах до лінії призведе до:		
P_U	– ураження живих істот електричним струмом	B.6
P_V	– фізичних пошкоджень	B.7
P_W	– збою внутрішніх систем	B.8
Ймовірність того, що спалах поблизу лінії призведе до:		
P_Z	– збою внутрішніх систем	B.9
Втрата внаслідок		
$L_A = L_U$	– ураження живих істот електричним струмом	
$L_B = L_V$	– фізичних пошкоджень	C.3, C.4, C.5, C.6
$L_C = L_M = L_W = L_Z$	– збою внутрішніх систем	C.3, C.4, C.6

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U. \quad (5.6)$$

- компонент, пов'язаний із фізичним пошкодженням (D2):

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V. \quad (5.7)$$

- компонент, пов'язаний зі збоєм внутрішніх систем (D3):

$$R_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W. \quad (5.8)$$

У багатьох випадках N_{DJ} можна знехтувати.

Параметри для оцінювання цих компонентів ризику подано у табл. 5.2.

Якщо лінії мають понад одну ланку, значення R_U , R_V та R_W є сумою значень R_U , R_V та R_W , які стосуються до кожної з ланок цієї лінії. Розглядаються ланки, розташовані між будівлею (спорудою) та першим вузлом.

У випадку будівлі (споруди) з понад однією приєднаною лінією, які прокладено різними трасами, розрахунок належить виконати для кожної лінії.

У випадку будівлі (споруди) з понад однією приєднаною лінією, які прокладено однією трасою, розрахунок належить виконати лише для лінії з найгіршими характеристиками, тобто лінії з найвищими значеннями N_L та N_I , приєднаної до внутрішньої системи з найменшим значенням U_W (лінії

телекомунікації порівняно з лінією електропостачання, неекранованої лінії порівняно з екранованою лінією, лінії НН порівняно з лінією ВН з ВН/НН трансформатором і т. ін.).

Для ліній, які перекрито площею збирання, зону перекриття належить розглянути лише один раз.

Для оцінювання компоненту ризику за спалахів блискавки поблизу лінії, приєднаної до будівлі (споруди) (S4) застосовують таке співвідношення:

- компонент, пов'язаний зі збоєм внутрішніх систем (D3):

$$R_Z = N_I \times P_Z \times L_Z. \quad (5.9)$$

Параметри для оцінювання цього компоненту наведені у табл. 5.2.

Якщо лінія має понад одну ланку, значення R_Z є сумою компонентів R_Z , які стосуються кожної з ланок лінії. Розглядаються ланки, розташовані між будівлею (спорудою) та першим вузлом.

Компоненти ризику для будівель (споруд) зведено до табл. 5.3 відповідно до різних типів пошкоджень та різних джерел пошкоджень.

Таблиця 5.3 – Компоненти ризику для різних типів пошкоджень та джерел пошкодження

Пошкодження	Джерело пошкодження			
	Спалах до будівлі (споруди) S1	Спалах поблизу будівлі (споруди) S2	Спалах до лінії, приєднаної до будівлі (споруди) S3	Спалах поблизу лінії, приєднаної до будівлі (споруди) S4
D1 Втрати життя внаслідок ураження електричним струмом	$R_A = N_D \times P_A \times L_A$		$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U$	
D2 Фізичні пошкодження	$R_B = N_D \times P_B \times L_B$		$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V$	
D3 Збій електричних та електронних систем	$R_C = N_D \times P_C \times L_C$	$R_M = N_M \times P_M \times L_M$	$R_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W$	$R_Z = N_I \times P_Z \times L_Z$

Якщо будівлю (споруду) поділено на зони Z_S , кожен компонент ризику належить оцінити для кожної зони Z_S .

Повний ризик R будівлі (споруди) є сумою компонентів ризику, що відповідають зонам Z_S , з яких складається будівля (споруда).

Оцінювання компонентів ризику для будівлі (споруди) із зонами Z_S .

Для оцінювання компонентів ризику та вибору відповідних залучених параметрів застосовують такі правила:

- параметри, що стосуються числа небезпечних подій N , належить оцінити у відповідності з Додатком А ДСТУ EN 62305-2;
- параметри, що стосуються ймовірності пошкодження P , належить оцінити у відповідності з Додатком В ДСТУ EN 62305-2.

Крім того:

- для компонентів R_A , R_B , R_U , R_V , R_W та R_Z лише одне значення має бути встановлено для кожної зони для кожного залученого параметру.

Коли застосовується понад одне значення, належить обрати найбільше з них.

- для компонентів R_C та R_M , якщо понад одну внутрішню систему залучено до зони, значення P_C та P_M складають:

$$P_C = 1 - (1 - P_{C1}) \times (1 - P_{C2}) \times (1 - P_{C3}). \quad (5.10)$$

$$P_M = 1 - (1 - P_{M1}) \times (1 - P_{M2}) \times (1 - P_{M3}). \quad (5.11)$$

де P_{Ci} , та P_{Mi} є параметрами, які стосуються внутрішньої системи $i = 1, 2, 3, \dots$ – параметри, що стосуються числа L пошкоджень, належить оцінити у відповідності з Додатком С ДСТУ EN 62305-2.

За винятком, зробленим для P_C та P_M , якщо для зони існує понад одне значення параметру, належить прийняти те значення, яке обумовлює найвище значення ризику.

У випадку визначення ризику для однозонної будівлі (споруди) визначається лише одна зона Z_S , яка складається з усієї будівлі (споруди). Ризик R є сумою компонентів ризику R_X у цій зоні.

Віднесення будівлі (споруди) до єдиної зони може спричинити подорожчання заходів захисту, оскільки кожен захід має поширюватися на всю будівлю (споруду).

У випадку багатозонної будівлі (споруди) будівлю (споруду) розділено на декілька зон Z_S . Ризик для будівлі (споруди) є сумою ризиків, які стосуються усіх зон будівлі (споруди); у кожній зоні ризик є сумою всіх компонентів у зоні.

Поділ будівлі (споруди) на зони дозволяє проєктувальнику брати до уваги характеристики кожної частини будівлі (споруди) під час оцінювання компонентів ризику та добирати найбільш прийнятні заходи захисту, враховуючи зону за зоною, зменшуючи загальну вартість заходів захисту від блискавки.

Аналіз економічної ефективності щодо економічних втрат (L4).

Незалежно від того, потрібно чи ні визначити захист для зниження ризиків $R1$, $R2$, та $R3$, корисно оцінити економічне обґрунтування у застосуванні заходів захисту з метою зниження ризику $R4$ економічних

втрат.

Об'єкти, для яких виконують оцінювання у ризику R4, належить визначити з огляду на:

- всю будівлю (споруду);
- частину будівлі (споруди);
- внутрішнє устаткування;
- частину внутрішнього устаткування;
- одиницю устаткування;
- вміст будівлі (споруди).

Належить оцінити вартість збитків, вартість заходів захисту та можливу економію згідно з Додатком D ДСТУ EN 62305-2.

Література:

1. Тищенко Є.О., Кальченко Я.Ю. Конспект лекцій. Аудит блискавкозахисту будівель і споруд. – Черкаси : НУЦЗУ, 2025. – 118 с.
2. Захист від блискавки. Частина 1. Загальні принципи (EN 623051:2011, IDT): ДСТУ EN 62305-1:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
3. Захист від блискавки. Частина 2. Керування ризиками (EN 623052:2010, IDT): ДСТУ EN 62305-2:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
4. Захист від блискавки. Частина 3. Фізичні руйнування споруд та небезпека для життя людей (EN 62305-3:2011, IDT): ДСТУ EN 62305-3:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
5. Захист від блискавки. Частина 4. Електричні та електронні системи, розташовані в будинках і спорудах (EN 62305-4:2010, IDT): ДСТУ EN 623054:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
6. Денис О., Степура Ю., Жарков В. Методичні рекомендації з розрахунку та проектування систем блискавкозахисту. Професійний блискавкозахист. – Львів: ТЗОВ «ФС блискавкозахист», 2023. – 118с
7. Монтаж пристроїв блискавкозахисту будівель та споруд: навчальний посібник / Ю. П. Войтюк, Д. Г. Писаренко. – Вінниця: ВНТУ, 2021. – 94 с.

Питання для самооцінювання.

1. Яка послідовність застосовується при порядкуванні ризиком за базової процедури?
2. Які складові повинні розглядатися для оцінювання ризику у будівлі (споруді)?
3. Яка послідовність застосовується для розгляду ризиків R1, R2 та R3 за особливої процедури оцінювання потреб захисту від блискавки?
4. Поясніть процедуру (алгоритм) визначення необхідності захисту та добору заходів захисту від блискавки.
5. Поясніть процедуру (алгоритм) оцінювання економічної

ефективності заходів захисту від блискавки.

6. Навести та пояснити базове рівняння для оцінювання компонентів ризику.

7. Яке співвідношення застосовують для оцінювання компоненту ризику, що пов'язаний із загрозою для живих істот від ураження електричним струмом (D1), за спалахів блискавки до будівлі (споруди) (S1)?

8. Яке співвідношення застосовують для оцінювання компоненту ризику, що пов'язаний із фізичним пошкодженням (D2), за спалахів блискавки до будівлі (споруди) (S1)?

9. Яке співвідношення застосовують для оцінювання компоненту ризику, що пов'язаний пов'язаний зі збоєм внутрішніх систем (D3), за спалахів блискавки до будівлі (споруди) (S1)?

10. Яке співвідношення застосовують для оцінювання компоненту ризику, що пов'язаний із загрозою для живих істот від ураження електричним струмом (D1), за спалахів блискавки до входної лінії, приєднаної до будівлі (споруди) (S3)?

11. Яке співвідношення застосовують для оцінювання компоненту ризику, що пов'язаний із фізичним пошкодженням (D2), за спалахів блискавки до входної лінії, приєднаної до будівлі (споруди) (S3)?

12. Яке співвідношення застосовують для оцінювання компоненту ризику, що пов'язаний зі збоєм внутрішніх систем (D3), за спалахів блискавки до входної лінії, приєднаної до будівлі (споруди) (S3)?

13. Наведіть основні рівняння для оцінювання компонентів ризику для будівлі (споруди) із зонами Z_s .

ЛЕКЦІЯ 6. ПРОЕКТУВАННЯ ЗОВНІШНЬОЇ СИСТЕМИ БЛИСКАВКОЗАХИСТУ

План лекції

- 6.1. Поняття та складові зовнішньої LPS.
- 6.2. Нормативні документи з розрахунку системи блискавкозахисту.
- 6.3. Блискавкоприймачі. Методи визначення зон захисту блискавкоприймачів.
- 6.4. Вимоги до розміщення блискавкоприймачів

6.1. Поняття та складові зовнішньої LPS

Система блискавкозахисту (LPS) – завершена система захисту від блискавки, призначена для зменшення фізичних пошкоджень будівель (споруд) від ударів блискавки у будівлю (споруду). Вона складається із зовнішньої і внутрішньої захисних систем.

Зовнішня система блискавкозахисту – частина LPS, яка складається з системи перехоплення (блискавкоприймачів), системи доземних провідників (струмовідводів) та системи земляного закінчення (уземлення).

Зовнішня LPS призначена для уловлювання прямих розрядів блискавки в будинки, включаючи розряди в фасад будівлі, і відведення струму блискавки від точки ураження до землі. Зовнішня LPS також призначена для розосередження цього струму в землі, не викликаючи термічного або механічного пошкодження, а також небезпечного іскріння, яке може стати причиною пожежі або вибухів. У більшості випадків зовнішня LPS може встановлюватися на будівлі, яка захищається.

Зовнішня LPS, ізольована від захищуваної будівлі – LPS з системою перехоплення та системою доземних провідників, розміщених таким чином, що шлях струму блискавки не має контакту із захищуваною будівлею (спорудою).

Ізольовану зовнішню систему блискавкозахисту потрібно влаштовувати в тому випадку, якщо в результаті термічних і вибухонебезпечних впливів у точці ураження або на провідниках, що несуть струм блискавки, може виникати небезпека для будівлі або обладнання, що знаходиться всередині цієї будівлі. Це, наприклад, можуть бути будівлі з займистим покриттям, будівлі зі стінами виконаними з горючого матеріалу, або зонами, в яких є високий ризик виникнення вибуху і пожежі.

Зовнішня LPS, не ізольована від захищуваної будівлі – LPS з системою перехоплення та системою доземних провідників, розміщених таким чином, що шлях струму блискавки може мати контакт із захищуваною будівлею (спорудою).

Рівень блискавкозахисту (РБЗ) – число (номер), яке пов'язане із заделегідь встановленими параметрами струму блискавки та імовірністю того, що ці взаємопов'язані максимальні і мінімальні параметри не будуть перевищувати природних параметрів струмів блискавки.

Клас LPS – номер, що позначає класифікацію LPS відповідно до рівня блискавкозахисту (LPL), для якого його створено.

6.2. Нормативні документи з розрахунку системи блискавкозахисту

1. ДСТУ EN 62305-1:2012 Захист від блискавки. Частина 1. Загальні принципи (EN 62305-1:2011, IDT).
2. ДСТУ IEC 62305-2:2012 Захист від блискавки. Частина 2. Керування ризиками (IEC 62305-2:2010, IDT).
3. ДСТУ EN 62305-3:2021 Блискавкозахист. Частина 3. Фізичні пошкодження будівель (споруд) та небезпека для життя (EN 62305-3:2011, IDT; IEC 62305-3:2010, MOD).
4. ДСТУ EN 62305-4:2012 Захист від блискавки. Частина 4. Електричні та електронні системи, розташовані в будинках і спорудах (EN 62305-4:2011, IDT).
5. ПУЕ Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання) Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України №476 від 21.07.2017. Глава 1.7. Заземлення і захисні заходи від ураження електричним струмом.
6. ДСТУ Б В.2.5-82:2016 Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. (Регламентує вимоги до захисту від ураження електричним струмом та до уземлювальних провідників).
7. ДСТУ EN 62561-1:2019 Компоненти системи блискавкозахисту (LPSC). Частина 1. Вимоги до з'єднувальних компонентів (EN 62561-1:2017, IDT; IEC 62561-1:2017, IDT).
8. ДСТУ EN IEC 62561-2:2019 Компоненти системи блискавкозахисту (LPSC). Частина 2. Вимоги до провідників та уземлювальних електродів (EN IEC 62561-2:2018, IDT; IEC 62561-2:2018, IDT).
9. ВСН-167-92 «Проектування арсеналів, баз та складів боєприпасів. Протипожежні вимоги».
10. Наказ Міністерства оборони України № 143 від 02.04.2019 р. про затвердження «Правил забезпечення пожежної безпеки в системі Міністерства оборони України» (розділ 3, Вимоги до системи блискавкозахисту).
11. НАПБ В.01.058-2008/112 Правила пожежної безпеки для об'єктів зберігання, транспортування та реалізації нафтопродуктів (регламентують захист від блискавки і статичної електрики, експлуатацію та утримання системи блискавкозахисту).
12. ВБН В.2.2-58.2-94. Резервуари вертикальні сталеві для зберігання нафти та нафтопродуктів з тиском насиченої пари не вище 93,3 кПа (встановлює чіткі вимоги щодо способів і зон захисту блискавкозахисту від залежно від конфігурацій і компонування резервуарів).

6.3. Блискавкоприймачі. Методи визначення зон захисту блискавкоприймачів

Блискавкоприймач (перехоплювач) — це частина зовнішньої LPS, яка містить металеві елементи, наприклад, стержні, сітки або натягнуті троси, призначені для перехоплення розрядів блискавки.

При наявності правильно спроектованого блискавкоприймача ймовірність проникнення в будівлю струму блискавки значно знижується. Блискавкоприймачі, що встановлюються на будівлі, слід розміщувати по кутах у виступаючих точках і по краях покрівлі, вони можуть складатися з будь-якої комбінації стрижнів (включаючи окремо розташовані щогли), підвісних тросів, сітчастих провідників.

Всі типи блискавкоприймачів повинні бути розраховані та розміщені відповідно до вимог р. 5.2.2, 5.2.3, додатку А та р. Е.5.2.2, Е.5.2.3 додатку Е. для захисту будівлі від прямого удару блискавки необхідно розмістити перехоплювачі (вертикальні щогли, блискавкозахисну сітку та інші горизонтальні провідники, троси) таким чином, щоб при розрахунках за одним чи кількома методами захисту, вся будівля, її покрівля та всі конструкції, устаткування чи інші виступаючі над покрівлею частини будівлі, знаходились в зонах захисту, утворених внаслідок розміщення блискавкоприймачів. При цьому щогли, блискавкозахисна сітка та інші елементи блискавкоприймачів повинні бути з'єднані між собою в одну систему.

Системи перехоплювачів можуть складатися з будь-якої комбінації таких елементів:

- а) стрижні (з окремо розташованими щоглами включно);
- б) натягнені троси;
- с) сітчасті провідники.

Для того, щоб усі типи систем перехоплювачів відповідали вимогам ДСТУ EN 62305-3:2021, належить розміщувати їх відповідно до 5.2.2, 5.2.3 та додатка А. Для всіх типів перехоплювачів лише реальні розміри металевих систем перехоплення потрібно застосовувати для визначення захищеного об'єму. Окремі стрижні перехоплювачів мають бути з'єднані між собою на рівні покрівлі для забезпечення розподілу струму. Радіоактивні перехоплювачі не є дозволеними. Розміщення системи перехоплення виконується методами захисного кута, сфери, що котиться та блискавкоприймальної сітки.

В якості елементів LPS, згідно р. 5.2.5 та р. Е.5.2.5 додатку Е ДСТУ EN 62305-3:2021 можна використовувати природні компоненти, які є виготовленими з струмопровідних матеріалів, і які повинні постійно знаходитися на будівлі, та не повинні змінюватися.

Металеві листи, що покривають будівлю, яка захищається (наприклад бляха, листи металочерепиці чи профнастилу), якщо виконуються наступні умови.

1. Забезпечена надійна електрична неперервність між різними частинами (наприклад, з використанням пайки твердим припоєм,

зварювання, гофрування, фальцевих з'єднань, закручування або болтового з'єднання);

2. Товщина металевого листа є не меншою ніж значення t' в табл. 2.4 ДСТУ EN 62305-3:2021 (0,5 мм для покрівлі з оцинкованої чи нержавіючої сталі), якщо не є важливим запобігти пробиттю покриття чи займанню будь-яких легкозаймистих матеріалів, розташованих під ним.

Таблиця 6.1 – Мінімальна товщина бляхи чи металевих труб у системах перехоплення (табл. 3 ДСТУ EN 62305-3:2021)

Клас LPS	Матеріал	Товщина t^a , мм	Товщина t^b , мм
I–IV	Свинець	–	2,0
	Сталь (державка, поцинкована)	4,0	0,5
	Титан	4,0	0,5
	Мідь	5,0	0,5
	Алюміній	7,0	0,65
	Цинк	–	0,7
t^a запобігає дір явленню t^b лише бляхи, якщо не є важливим дір явленню, місцевому перегріванню чи займанню.			

В такому випадку можливий пробій обшивки, тобто при ударі блискавки металевий лист покрівлі буде пошкоджений, але струм відведеться до уземлення. Також можливе загоряння займистих матеріалів, якщо такі знаходяться під покрівлею.

При використанні таких металевих листів в якості блискавкоприймача, рекомендуємо узгодити таке рішення із замовником та прописати його в завданні на проєктування. Також рекомендовано отримати лист від замовника, що він розуміє, що при ударі блискавки покрівля може бути пошкодженою, та надає на це згоду.

3. Якщо необхідно вживати заходів обережності щодо пробою металевих листів покрівлі або є ймовірність загоряння легкогорючих матеріалів під покрівлею в місці удару блискавки, потрібно використовувати металеві листи з товщиною не меншою ніж значення t в табл. 6.1 (4 мм для сталі);

г) дані металеві листи не є покритими ізоляційним матеріалом, при цьому тонкий шар захисної фарби, асфальтове покриття товщиною 1 мм або покриття з ПВХ товщиною 0,5 мм не розглядають як ізоляційний матеріал.

2. **Металеві компоненти дахів будівель і споруд** (кроквяні ферми, поєднана між собою металева арматура і т.п.), які розташовані під неметалевим покриттям даху, за умови, що останню частину можна виключити з захищеної будівлі (тобто металеві конструкції, які знаходяться під черепицею, при ударі блискавки в них відведуть струм, але черепиця буде пошкодженою).

3. Металеві деталі:

– огороження, поручні, декоративні шпилі, флюгери і т.д., площа поперечного перерізу яких не є меншою, ніж в табл. 6.2 труби та поручні з труб з товщиною стінки не менше, ніж значення t згідно табл. 6.1 (наприклад, 4 мм для сталі);

– поручні з труби з товщиною стінки менше**, ніж значення t , проте з площею поперечного перерізу не меншою, ніж зазначається в табл. 6.2;

– металеве покриття парапетів з товщиною не менше ніж значення t' згідно табл. 2.4, для якого забезпечено електричну безперервність між всіма частинами парапету, при умові відсутності ризику займання матеріалу під металевим покриттям від розтопленого металу. Займистість використовуваного матеріалу має бути підтверджена замовником.

4. Розташовані на даху металеві труби і резервуари за умови, що вони виготовлені з матеріалу, площа поперечного перерізу яких є не меншою ніж вказана в табл. 6 ДСТУ EN 62305-3:2021.

5. Металеві труби і резервуари, що містять легкозаймисті або вибухонебезпечні суміші, за умови, що вони виготовлені з матеріалу з товщиною не меншою ніж значення t в табл. 6.1 і що підвищення температури внутрішньої поверхні в точці удару блискавки не представляє небезпеки. Якщо вимоги до товщини не дотримуються, труби і резервуари повинні бути захищені окремими блискавкоприймачами.

Також труби, по яких проходять легкозаймисті та вибухонебезпечні суміші, не розглядають в якості природного компонента блискавкоприймача, якщо у фланцевих з'єднаннях використовуються неметалеві прокладки або якщо сторони фланця пов'язані іншим надійним способом.

На будівлях зі скатною покрівлею часто наявне металеве огороження, яке можна використовувати в якості природного компонента LPS, якщо площа його поперечного перерізу не є меншою, ніж вказана в таблиці 6.2 (переріз 50 мм² для сталі). Провідники блискавкоприймача і сітки на поверхні даху та доземні провідники повинні з'єднуватись з огороженням. Якщо на стиках між секціями огороження відсутнє електричне з'єднання, його потрібно забезпечити додатково.

Приклад: на скатній покрівлі наявне металеве огороження з прутка Ø12 мм (переріз складає 113 мм²), яке можна використати як природний компонент LPS. Секції огороження довжиною 3 м не мають безперервного з'єднання, тож їх з'єднано за допомогою злучників. Лінію блискавкоприймальної сітки при цьому прокласти вздовж огороження не потрібно.

Таблиця 6.2 – Матеріал, конфігурація та мінімальна площа перерізу провідників та стрижнів перехоплювачів, стрижнів уводу до уземлення та доземних провідників (табл. 6 ДСТУ EN 62305-3:2021)

Матеріал	Конфігурація	Площа поперечного перерізу, мм ²
Мідь, лужена мідь	Суцільний стрічковий	50
	Моножила кругла ^b	50

	Багатожильний ^b	50
	Моножила круга ^c	176
Алюміній	Суільний стрічковий	70
	Моножила круга	50
	Багатожильний	50
Алюмінієвий сплав	Суільний стрічковий	50
	Моножила круга	50
	Багатожильний	50
	Моножила круга ^c	176
Обміднений алюмінієвий сплав	Моножила круга	50
Гарячеоцинкована сталь	Суільний стрічковий	50
	Моножила круга	50
	Багатожильний	50
	Моножила круга ^c	176
Поміднена сталь	Моножила круга	50
	Суільний стрічковий	50
Нержавка сталь	Суільний стрічковий ^d	50
	Моножила круга ^d	50
	Багатожильний	70
	Моножила круга ^c	176

^a Механічні та електричні характеристики, а також протикорозійні властивості мають відповідати вимогам майбутньої серії EN 62561.

^b 50 мм² (8 мм у діаметрі) може бути зменшено до 25 мм² у деяких застосуваннях, коли механічна міцність не є обов'язковою вимогою. У цьому разі належить приділити увагу зменшенню відстані між кріпленнями.

^c застосовують для стрижнів перехоплювачів та стрижнів уземлювачів. Для стрижнів перехоплювачів, де механічне напруження, як-от вігрове обтяження, не є критичним, може бути використано стрижень діаметром 9,5 мм завдовжки 1 м.

^d якщо теплові та механічні характеристики є важливими, тоді ці значення повинні бути збільшені до 75 мм².

На будівлях з плоскими дахами металеве покриття парапетів можна використовувати в якості природного компонента LPS відповідно до р. Е.5.2.4.2.2 , Е.5.2.5 ДСТУ EN 62305-3:2021 за умов, що його товщина є не меншою ніж значення t' в таблиці 6.1] (товщина не менше 0,5 мм для сталі), та відсутній ризик загоряння в результаті впливу розплавленого металу. Якщо на стиках між секціями панелей, що покривають парапети, відсутній надійний зв'язок, то між ними потрібно забезпечити струмопровідне шунтування.

Приклад: на плоскій покрівлі парапети покриті оцинковою товщиною 0,5 мм, яку можна використати як природний компонент LPS. Металеві листи надійно з'єднані між собою шунтуванням з допомогою самонарізів, тож додаткового з'єднання забезпечувати не потрібно. При ударі блискавки покриття паратету може бути пошкодженим, тож таке рішення потрібно

узгодити із замовником та прописати в завданні на проєктування та затвердити замовником.

Металеві резервуари, труби та огороження, які встановлені на поверхні даху або виступають над нею, можна розглядати в якості природних провідників системи перехоплення за умови, що товщина їх стінок відповідає значенням таблиці 6.1 (товщина не менше 4 мм для сталі).

Приклад: на покрівлі наявне металеве огороження з труби Ø40 мм з товщ. стінки 4 мм, яке можна використати як природній компонент LPS. Секції огороження надійно з'єднані між собою, тож додаткового з'єднання забезпечувати не потрібно. Провідники сітки LPS та доземні провідники потрібно приєднати до огороження.

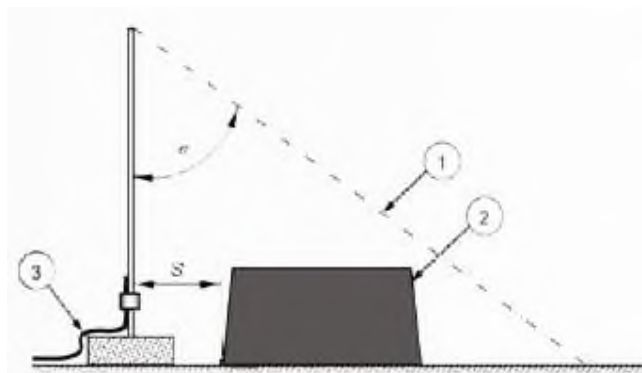
Резервуари і трубопровід, в яких міститься газ чи рідини під високим тиском або вогнебезпечний газ чи рідини, не повинні використовуватися в якості природних перехоплювачів.

Струмопровідні частини над поверхнею даху, наприклад металеві резервуари і сталеві арматурні стержні бетону, повинні з'єднуватися з LPS. Для запобігання електричного проходження повного струму блискавки через будівлю, між такими природними компонентами LPS і сіткою блискавкозахисту необхідно забезпечити добре сполучення. Якщо прямий удар блискавки в дану струмопровідну частину будівлі неприпустимий, потрібно встановити блискакоприймачі таким способом, щоб ця частина опинилась всередині захищеного простору системою блискакоприймача.

Для забезпечення неперервного електричного з'єднання металевих листів покрівлі, металевого покриття огорожі чи металевої обшивки, їх секції необхідно з'єднувати за допомогою одного з двох методів: шунтуванням з використанням гнучких металевих смуг, або шунтуванням самонарізаючими гвинтами.

6.4. Вимоги до розміщення блискакоприймачів

При проєктуванні розміщення блискакоприймачів та провідників блискавкозахисту, їх потрібно розмістити так, щоб вони знаходились на безпечній відстані S від металевого обладнання на покрівлі чи інших провідних частин будівлі, як показано на рис.6.1. Якщо не має можливості забезпечити безпечну відстань, то потрібно з'єднати установку з LPS в найбільш віддаленій точці від вихідної точки з'єднання.



$$S = (k_i / k_m) \cdot k_c \cdot l$$

- 1 – зона захисту;
- 2 – захищуване обладнання;
- 3 – вертикальний блискакоприймач;
- α – захисний кут згідно графіку Таблиці 2 [3]
- S – захисна ізоляційна відстань

Рисунок 6.1 – Безпечна відстань S від металевого обладнання

Вимоги та рекомендації до розміщення блискавкоприймачів та провідників блискавкозахисту на покрівлі із займистих матеріалів:

- якщо покрівля виконана з легкозаймистого матеріалу, то потрібно забезпечити деяку відстань між провідниками блискавкоприймача і покрівлею: для дахів, виготовлених з соломи або очерету, в яких сталеві балки не використовуються, достатньо забезпечити відстань між провідником і дахом 0,15 м; для інших горючих матеріалів потрібно забезпечити відстань не менше 0,10 м;

- легкозаймисті частини будівлі, що захищаються, не повинні залишатися в прямій взаємодії з компонентами LPS, а також перебувати безпосередньо під будь-якою металевою оболонкою покрівлі, яка може бути пробита ударом блискавки (наприклад, під покрівлею з профнастилу товщиною 0,5 мм, яка використовується в якості блискавкоприймача).

Якщо немає можливості забезпечити достатню відстань між провідником LPS і дахом чи стіною з горючих матеріалів, захистити їх від небезпечного впливу струму блискавки, що нагріває провідники LPS, можна за допомогою використання одного або декількох заходів:

- зниження температури провідників за рахунок збільшення розміру поперечного перерізу;
- збільшення відстані між провідниками і покриттям даху;
- вставки теплозахисного шару між провідниками і горючим матеріалом (наприклад, використання термоізоляційної трубки).

Провідники на дахах і з'єднання стрижнів блискавкоприймача можна прикріплювати до даху, використовуючи або струмопровідні (металеві), або непровідні прокладки і кріплення (пластикові). Провідники можна також розміщувати на поверхні стіни, якщо вона виготовлена з непровідного матеріалу.

При прокладанні провідників LPS по металевій покрівлі на непровідних (пластикових) тримачах, рекомендується в місцях переходу блискавкоприймача до струмовідводів також приєднати металевий дах до LPS. В такому випадку, якщо деяка частина струму перекинеться внаслідок іскріння з провідника на металеву покрівлю, то цей струм буде також відведено доземним провідником.

У малоповерхових будинках (для однієї сім'ї) і аналогічних будівлях з коником на даху провідники слід встановлювати на конику. Якщо споруда повністю знаходиться в зоні захисту, що утворена провідником на конику даху, то по краях фронту в протилежних кутках будівлі повинні проходити не менше двох доземних провідників.

Також рекомендується на всіх гострих кутах покрівлі (рис.6.2) вивести дріт на 20-30 см та нагнути його вгору, оскільки гострі кути на покрівлі є найімовірнішими місцями для влучання блискавки.

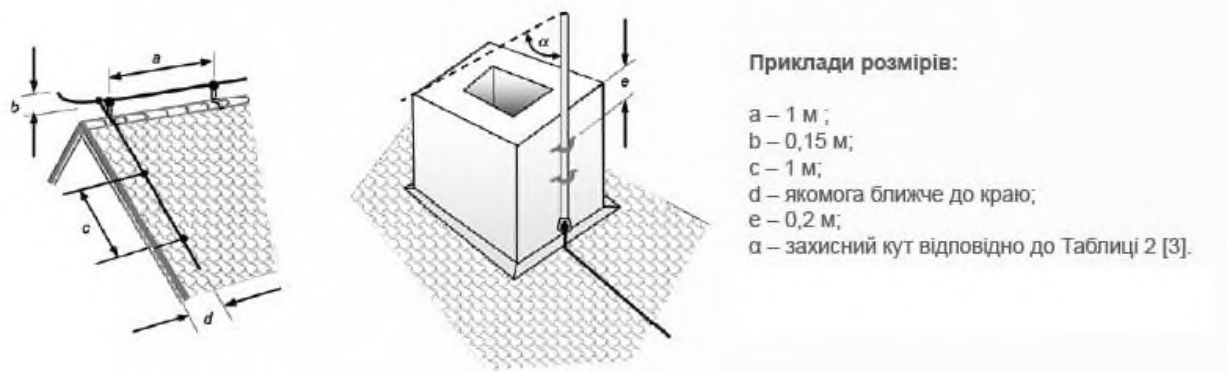


Рисунок 6.2 – Приклад установки блискавкоприймачів на гострих кутах покрівлі та вентиляційних каналах

При кріпленні блискавкоприймачів до коминів, вентиляційних каналів чи інших конструкцій, рекомендовано кріпити нижніх 0,5 м блискавкоприймача до конструкції при висоті блискавкоприймача до 4-х м, та 0,7-1,0 м при висоті блискавкоприймача більше 4-х м, при цьому верхню точку кріплення для надійності потрібно влаштувати на відстані не менше 0,2 м від краю вентиляційного каналу чи конструкції (рис.6.2).

Таблиця 6.3 – Рекомендовані центри фіксації

Розміщення провідників	Відстань між точками кріплення для круглих провідників, мм
Горизонтальні провідники на горизонтальних поверхнях	1 000
Горизонтальні провідники на вертикальних поверхнях	1 000
Вертикальні провідники від землі до 20 м	1 000
Вертикальні провідники від 20 м і далі	1 000

Водостічні труби, наявні на краю даху, можуть використовуватися в якості природних провідників за умови, що вони відповідають вимогам 5.2.5 ДСТУ EN 62305-3:2021.

Для уникнення провисань дроту між тримачами, рекомендується дотримуватись наступних відстаней між кріпленнями (тримачами) провідників LPS, які представлені у табл. 6.3.

Література:

1. Тищенко Є.О., Кальченко Я.Ю. Конспект лекцій. Аудит блискавкозахисту будівель і споруд. – Черкаси : НУЦЗУ, 2025. – 118 с.
2. Захист від блискавки. Частина 1. Загальні принципи (EN 623051:2011, IDT): ДСТУ EN 62305-1:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
3. Захист від блискавки. Частина 2. Керування ризиками (EN 623052:2010, IDT): ДСТУ EN 62305-2:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).

4. Захист від блискавки. Частина 3. Фізичні руйнування споруд та небезпека для життя людей (EN 62305-3:2011, IDT): ДСТУ EN 62305-3:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
5. Захист від блискавки. Частина 4. Електричні та електронні системи, розташовані в будинках і спорудах (EN 62305-4:2010, IDT): ДСТУ EN 62305-4:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
6. Денис О., Степура Ю., Жарков В. Методичні рекомендації з розрахунку та проектування систем блискавкозахисту. Професійний блискавкозахист. – Львів: ТзОВ «ФС блискавкозахист», 2023. – 118с
7. Монтаж пристроїв блискавкозахисту будівель та споруд: навчальний посібник / Ю. П. Войтюк, Д. Г. Писаренко. – Вінниця: ВНТУ, 2021. – 94 с.

Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення зовнішньої системи блискавкозахисту?
2. Дайте визначення рівню блискавкозахисту?
3. В якому випадку необхідно влаштовувати ізольовану зовнішню систему блискавкозахисту?
4. Назвіть нормативні документи за якими проводиться розрахунок і проектування системи блискавкозахисту?
5. З яких елементів можуть складатися системи перехоплювачів?
6. Які будівельні конструкції можна використовувати у якості блискавкоприймачів?
7. Перелічіть вимоги до розміщення блискавкоприймачів та провідників блискавкозахисту на покрівлі із займистих матеріалів?
8. Дайте визначення безпечної відстані S від металевого обладнання?
9. Надайте характеристики матеріалів провідників, стрижнів перехоплювачів, стрижнів уводу до уземлення та доземних провідників?
10. Для чого призначена зовнішня система блискавкозахисту?

ЛЕКЦІЯ 7. СКЛАДОВІ ЗОВНІШНЬОЇ СИСТЕМИ БЛИСКАВКОЗАХИСТУ

План

7.1. Доземні провідники та особливості їх розміщення

7.2. Уземлювачі, їх типи та особливості розміщення

7.1. Доземні провідники та особливості їх розміщення

Доземний провідник (струмовідвід) — це частина зовнішньої системи блискавкозахисту, призначена для відводу струму блискавки від блискавкоприймача до уземлювача.

З метою зниження ймовірності пошкодження захищуваного об'єкту внаслідок протікання струму блискавки в LPS, доземні провідники потрібно розміщувати таким чином, щоб у разі удару блискавки в землю:

- а) були кілька паралельних шляхів струму;
- б) довжина шляхів струму була обмежена до мінімуму;
- с) вирівнювання потенціалів для струмопровідних частин будівлі здійснювалося відповідно до п.6.2 ДСТУ EN 62305-3:2021.

Для окремого вертикального блискавкоприймача ізольованої LPS достатньо влаштувати 1 доземний провідник. Для кожної неізольованої LPS кількість доземних провідників повинна бути не менше 2-х і розташовуватися вони повинні по периметру будівлі, що захищається, в залежності від архітектурних і практичних обмежуючих умов.

Бажано, щоб доземні провідники розташовувалися по периметру на рівній відстані один від одного. Типові середні значення відстані між доземними провідниками вказані в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Типові відстані між доземними провідниками і між кільцевими провідниками відповідно до класу LPS (табл.4 ДСТУ EN 62305-3:2021)

Клас LPS	Середні відстані між струмовідводами, м
I	10
II	10
III	15
IV	20

Отже, для визначення необхідної кількості доземних провідників для розміщеної на будівлі LPS, необхідно визначити периметр захищуваної будівлі та поділити його значення на значення середньої відстані між доземними провідниками з табл. 7.1 відповідно до вибраного класу LPS.

Приклад: периметр будівлі 108 м, клас блискавкозахисту для захищуваної будівлі: III. При LPL-III середня відстань між доземними провідниками повинна становити 15 м. Необхідна кількість доземних провідників для даної будівлі: $108 / 15 = 7,2 = 7$ доземних провідників. При зворотній перевірці середня відстань становитиме: $108 / 7 = 15,42$ м, що відповідає табл. 7.1.

Для збільшення загальної кількості паралельних провідників струму рекомендується використовувати природні компоненти, які є виготовленими зі струмопровідних матеріалів, і які повинні постійно знаходитися в будівлі або на будівлі та не повинні змінюватися. Використання таких компонентів в якості струмовідводів зменшує падіння напруги в системі доземних провідників і скорочує електромагнітні перешкоди в будівлі. Однак слід гарантувати, що такі струмовідводи є електрично неперервними по всьому шляху між системою блискавкоприймача і системою земляного закінчення. В якості природних компонентів струмовідводів можна використовувати наступні компоненти.

Металеві конструкції за умови, що:

а) забезпечена надійна електрична неперервність між різними частинами (наприклад, з використанням пайки твердим припоєм, зварювання, гофрування, фальцевих з'єднань, закручування або болтового з'єднання);

б) вони виготовлені з матеріалу, площа поперечного перерізу і розміри якого не менші ніж в табл. 7.1:

- для міді та нержавіючої сталі: переріз 50 мм² (діаметр 8 мм);

- для алюмінію: переріз 70 мм² для плоского провідника або 50 мм² для круглого провідника;

- для цинкованої сталі: переріз 50 мм².

При цьому труби, по яких протікають горючі або вибухонебезпечні суміші, не повинні розглядатися в якості природних компонентів доземного провідника, якщо у фланцевих з'єднаннях використовуються неметалеві прокладки або якщо сторони фланця пов'язані іншим надійним способом.

Металеві, електрично неперервні конструкції будівлі, армовані бетоном. Сталевий риштунок (арматуру) у будинках із залізобетонними конструкціями можна використовувати як природній компонент LPS, якщо забезпечена електрична безперервність сталевого риштунку по всій довжині колони.

Для забезпечення електричної безперервності сталевого риштунку, стрижні повинні з'єднуватись між собою шляхом зварювання (довжина шва не менше 50 мм), затискання злучниками або в'язанням (довжина в'язання не менше 20 діаметрів стрижня), як показано на рис. 7.1. Стрижні, що з'єднані звичайним в'язанням, яке є найбільш популярним у будівництві, не можна використовувати в якості струмовідводів.

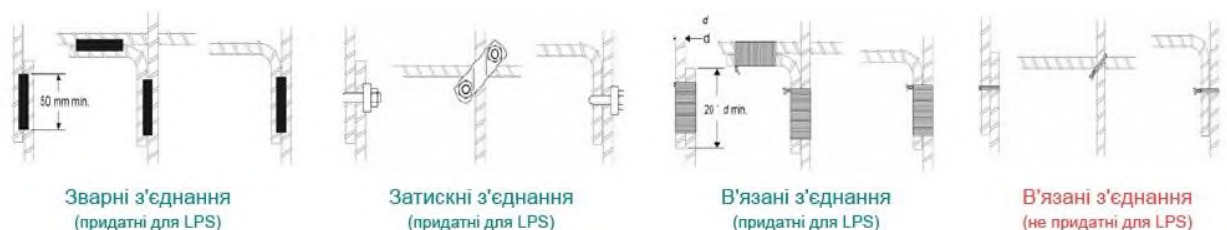


Рисунок 7.1 – Типові способи з'єднання стрижнів риштунку у бетоні

Щоб упевнитись у відповідності сталевому риштунку для використання як природнього компонента LPS потрібно отримати будівельну документацію та креслення від забудовника. Також таке рішення потрібно погодити в завданні на проектування.

Дотримання вимоги щодо максимального загального опору $0,2 \Omega$ можна перевірити шляхом вимірювання опору між системою перехоплювачів і контактними закладними уземлення на рівні землі за допомогою придатного випробувального обладнання, здатного виконувати вимірювання за чотирипровідною схемою (два струмових провідники і два потенційні провідники). Величина вимірювального струму, який вводиться, має становити близько 10 А.

Якщо не можна гарантувати електричну безперервність стрижнів риштунку природних струмовідводів, то потрібно встановлювати звичайні доземні провідники. Для більшості будівель, які вже є збудованими, використання сталевому риштунку з/б колон не є рекомендованим, адже дуже важко перевірити відповідність сталевому риштунку для використання у якості ДП та влаштування точок приєднання до риштунку може нашкодити цілісності з/б колони.

Хорошим рішенням для влаштування доземних провідників у з/б колонах нових будівель, де використовуються в'язані з'єднання, є влаштування в колоні додаткового сполучного провідника (наприклад, з непокритої сталі $\varnothing 10$ мм) по всій довжині колони, який буде з'єднаний з сталевим риштунком ($\sim$ кожних 3 м) за допомогою в'язання або затискачів.

При використанні стрижнів риштунку з/б колон у якості доземного провідника або влаштуванні додаткового провідника в колоні, на верхньому та нижньому рівні колони потрібно влаштувати закладну для приєднання стрижня риштунку до зовнішніх компонентів LPS (системи перехоплювачів та системи земляного закінчення), яка проходить крізь бетон та яка приварена або притиснута до стрижнів риштунку.

Для забезпечення влаштування в колоні сполучного провідника та закладних для приєднання зовнішніх компонентів LPS, потрібно узгодити місця їх розміщення із замовником та генпідрядником, та надати завдання на їх виконання будівельникам.

Рішення по влаштуванню провідників та додаткових елементів у з/б колонах потрібно узгоджувати на етапі проектування розділу АР будівлі та також враховувати їх у архітектурних розділах проєкту. Приклади

З'єднаний сталевий каркас будівлі. У будівлях з наявністю суцільних металевих колон, такі колони можна використати у якості доземних провідників.

При цьому потрібно забезпечити виводи сполучного провідника (наприклад, круглого сталевому провідника діаметром 8..10 мм), який з'єднано з колоною шляхом приварення (довжина зварного шва не менше 50 мм) або болтового з'єднання.

Якщо металева колона, яка використовується в якості природнього ДП, проходить відкрито в приміщенні, де знаходяться люди, необхідно

забезпечити заходи захисту від напруги дотику за допомогою влаштування екрану (наприклад, за допомогою обшивки), огороження або попереджувальних табличок про заборону підходити до колони під час грози.

Для забезпечення влаштування виводів сполучного провідника від колони, потрібно узгодити місця їх розміщення із замовником та генпідрядником, та надати завдання на їх виконання будівельникам.

Металеві частини фасаду, профільовані елементи і опорні металеві конструкції фасаду за умови, що:

а) їх розміри відповідають вимогам табл. 6.2, а товщина металевих листів або металевих труб не менша 0,5 мм;

б) забезпечена їхня електрична неперервність у вертикальному напрямку.

Якщо електрична безперервність з'єднання металевих листів не гарантована, потрібно влаштувати додаткові перемички для забезпечення електричного з'єднання між листами. Металеві фасади, що включають в себе порівняно малі елементи, які не пов'язані між собою, не можуть використовуватися в якості системи природніх доземних провідників або електромагнітного екранування.

Водостічну трубу, яка задовольняє умовам природніх струмовідводів відповідно до п. 5.3.5, можна використовувати в якості природнього доземного провідника.

Як природні доземні провідники можуть використовуватися арматурні стержні стін або бетонні колони і сталеві каркасні конструкції. З'єднання з системою перехоплення слід встановлювати на верхній частині покриття стін, а з системою уземлення - на нижній частині з армованими стержнями бетонних стін, якщо це доцільно.

Якщо система перехоплення з'єднана з провідними частинами колон в будівлі і з еквіпотенційним з'єднанням на рівні землі, частина струму від блискавки протікає через ці внутрішні струмовідводи. Магнітне поле цього часткового струму блискавки може впливати на сусіднє обладнання і має розглядатися під час проєктування внутрішньої LPS і електричних та електронних установок.

Рішення щодо використання металевого фасаду, колон, водостічних труб чи інших конструкцій в якості природнього компонента LPS обов'язково потрібно погодити із замовником та затвердити у завданні на проєктування.

Приклади:

а) будівля з легкокозбірних металевих конструкцій, металеві колони з площею поперечного перерізу більшою ніж вказана в табл. 6.2 щодо сталі. Дані колони можна використати в якості доземних провідників - приєднавши зверху до системи перехоплювачів (для цього до колони можна приварити і вивести через фасад металевий дріт діаметром не менше ніж 8 мм, до якого приєднати провідник блискавкоприймача) та знизу до системи уземлення (також через виведення дроту).

б) колони будівлі є залізобетонними, їх сталевий риштунок з'єднаний між собою зварюванням та забезпечується його електрична неперервність. Такий сталевий риштунок можна використати в якості природного доземного провідника. Для приєднання зовнішніх компонентів LPS до риштунку потрібно передбачити влаштування закладних точок, які проходитимуть крізь бетон.

в) Колони будівлі є залізобетонними, їх сталевий риштунок з'єднаний між собою в'язанням та його електрична неперервність не забезпечується. В таких з/б колонах можна влаштувати додатковий сполучний провідник із непокритої сталі діаметром. 10 мм по всій довжині колони. Для приєднання зовнішніх компонентів LPS до сполучного провідника потрібно передбачити влаштування закладних точок, які проходитимуть крізь бетон.

Зовнішні доземні провідники встановлюють між системою блискавкоприймачів і системою земляного закінчення. По можливості рекомендовано використовувати природні доземні провідники в будівлі.

По периметру будівлі потрібно влаштувати розраховану необхідну кількість доземних провідників з забезпеченням середньої відстані між ними згідно табл. 7.1 та врахуванням вимог і рекомендацій, вказаних нижче.

При виборі місць розміщення струмовідводів потрібно вважати на те, що якщо струм блискавки розподіляється по декількох струмовідводах, ризик бокового удару і виникнення електромагнітних перешкод всередині будівлі знижується. Тому, в міру можливості, струмовідводи повинні розміщуватися рівномірно по периметру будівлі і з симетричною конфігурацією.

Допускається зміна в відстані струмовідводів $\pm 20\%$, якщо середня відстань відповідає Таблиці 7.1. Рекомендовано, щоб відстань між доземними провідниками була не меншою, ніж $1/3$ відстані, що зазначена в табл. 7.1 (наприклад, 5 м для LPL-III).

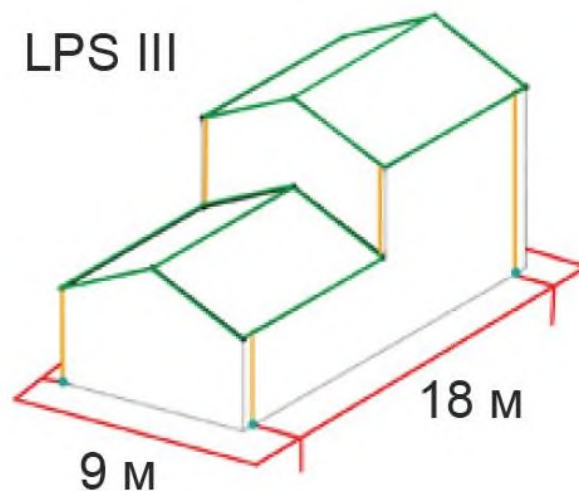


Рисунок 7.2 – Приклад встановлення доземних провідників

На рис.7.2 показаний приклад встановлення доземних провідників. При периметрі будівлі 54 м (18+9+18+9), середня відстань між струмовідводами складає $54/4 = 13,5$ м, що є прийнятно до табл. 7.1 при LPL III.

Якщо є така можливість, доземні провідники потрібно встановлювати так, щоб вони були прямим продовженням провідників від блискавкоприймача чи сітки блискавозахисту.

Доземні провідники потрібно прокладати по прямим і вертикальних лініях так, щоб шлях струму до землі був найкоротшим і найбільш прямим. Доземні провідники повинні бути якомога коротшими, щоб забезпечити (по можливості) найменшу індуктивність. Якщо встановити доземні провідники на бічній стороні будівлі неможливо з причини практичних або архітектурних обмежень, струмовідводи, які повинні знаходитися на цій стороні, слід встановлювати на інших сторонах будівлі як додаткові компенсаційні доземні провідники. Відстань між цими струмовідводами повинна бути не менше $1/3$ відстаней, зазначених у Таблиці 7.1.

На рис. 7.3 показано, що необхідний доземний провідник із середини сторони будівлі довжиною 30 м перенесено як компенсуючий на сторону довжиною 15 м, при цьому відстань до найближчого проектного є не меншою ніж 5 м ($1/3$ від середньої відстані 15 м для LPL III).

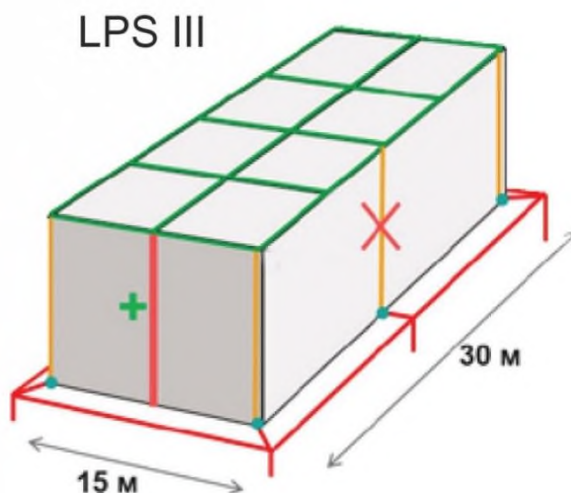


Рисунок 7.3 – Приклад перенесення доземного провідника на іншу стіну

Не рекомендується прокладання струмовідводів у вигляді петель, але там, де цього уникнути неможливо, повинна бути дотримана безпечна відстань s , виміряна поперек відстані між двома точками на провіднику.

Кільцеві з'єднання доземних провідників (горизонтальні пояси) не є обов'язковими, але їх влаштування на рівні землі та кожних 10-20 м по висоті відповідно до табл. 2.7 буде хорошим рішенням, яке знижує ймовірність небезпечного іскріння і полегшує захист внутрішніх установок. Якщо в якості струмовідводів використовується металева структура сталевих конструкцій або з'єднана між собою арматура, то в кільцевих провідниках немає необхідності.

По можливості доземні провідники повинні розміщуватися на відстані від внутрішніх мереж і металевих елементів, щоб уникнути необхідності еквіпотенційного з'єднання цих елементів з LPS. Потрібно розміщувати доземні провідники таким чином, щоб між ними і будь-якими дверми і вікнами забезпечувалась безпечна ізоляційна відстань s .

Якщо немає можливості витримати відстань 3 м від струмовідводу до входу в будівлю, потрібно прокласти доземний провідник в ізолюючій пластиковій трубці із товщиною стінки не менше 3 мм, що забезпечує імпульсну міцність у 100 кВ, 1,2/50 мкс.

Доземні провідники, які не ізолювані від завищеної будівлі, можна встановлювати таким чином:

- якщо стіна виконана з негорючого матеріалу, то доземні провідники можуть бути закріплені на поверхні стіни або проходити в стіні;

- якщо стіна виконана з горючого матеріалу, то доземні провідники можуть бути закріплені на поверхні стіни так, щоб підвищення їх температури при протіканні струму блискавки не створювало небезпеки для матеріалу стіни;

- якщо стіна виконана з горючого матеріалу і підвищення температури провідників становить для нього небезпеку (наприклад, стіна з утеплювачем), доземні провідники повинні розташовуватися таким чином, щоб відстань між ними і стіною завжди перевищувала 0,1 м.

- якщо не можна забезпечити відповідну відстань від доземного провідника до горючого матеріалу, то переріз провідника має бути не менше 100 мм².

- якщо з архітектурних міркувань доземні провідники не можна розмістити на поверхні стін, їх слід встановлювати на відкритих щілинах в цегляній кладці. В цьому випадку необхідно забезпечувати безпечну ізоляційну відстань S між струмовідводом і металевими елементами всередині будівлі.

- не рекомендується встановлювати доземні провідники безпосередньо на зовнішній штукатурці, тому що вона може руйнуватися в результаті теплового розширення. Крім того, в результаті хімічної реакції штукатурка може вицвітати. Руйнування штукатурки найімовірніше може відбутись в результаті підвищення температури і механічних сил, що викликаються струмом блискавки; провідники з покриттям з ПВХ запобігають утворенню плям.

- 1 - горизонтальний провідник блискавкоприймача;
- 2 - доземний провідник (струмовідвід);
- 3 - Т-подібне антикорозійне з'єднання;
- 4 - контрольне з'єднання;
- 5 - розташування уземлення типу В;
- 6 - Т-подібне з'єднання на коньку даху;
- 7 - розмір комірки сітки.

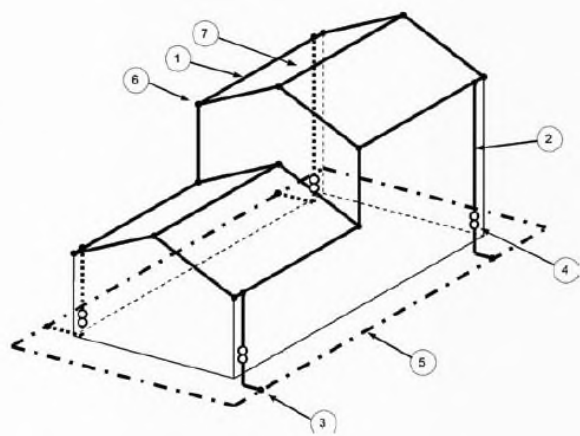


Рисунок 7.4 – Встановлення зовнішньої LPS на будівлі з різнорівневим дахом

Не слід прокладати доземні провідники у водостічних трубах, навіть якщо вони покриті ізоляційним матеріалом, оскільки вплив вологи в водостічних трубах може призвести до корозії провідників.

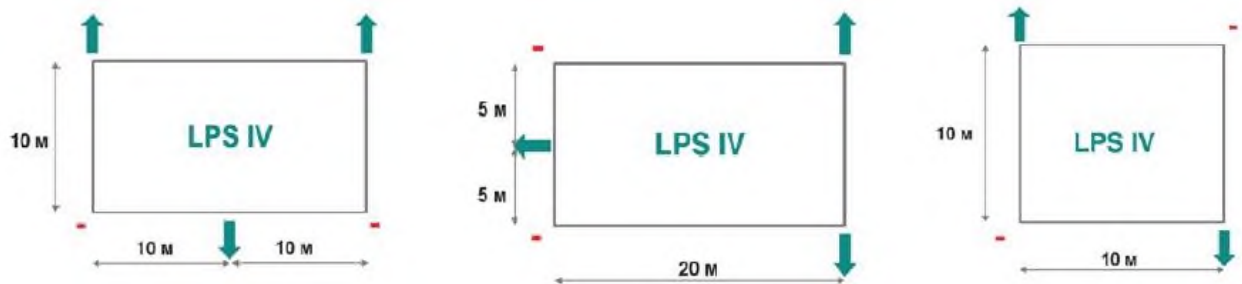


Рисунок 7.5 – Приклади будівель з LPS IV, для яких не потрібне встановлення струмовідводів у деяких виступаючих кутах

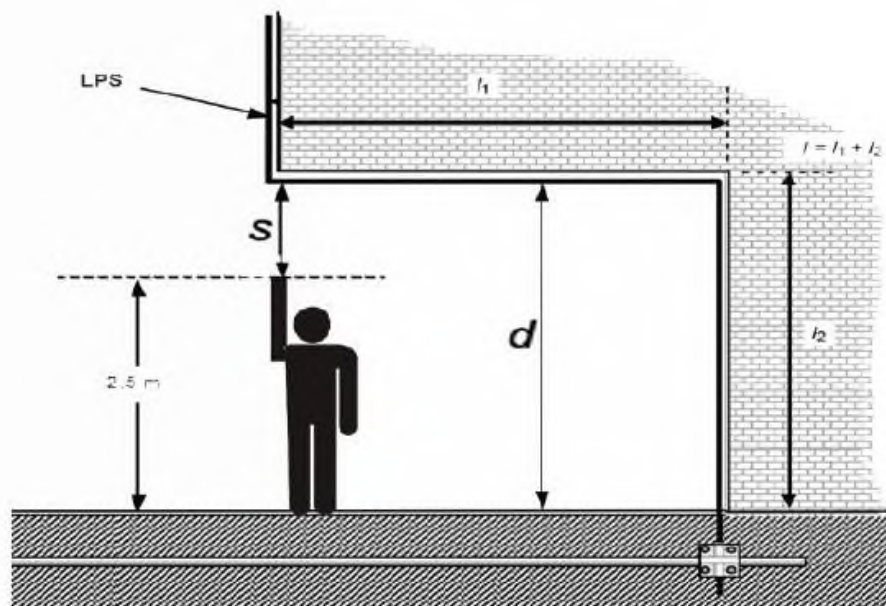


Рисунок 7.6 – Приклади будівель з LPS IV, для яких не потрібне встановлення струмовідводів у деяких виступаючих кутах

Доземні провідники необхідно встановлювати в кожному виступаючому куті будівлі (споруди) (де це є можливим). При цьому, можна не встановлювати доземний провідник на відкритому куті, якщо виконується одна з двох наступних умов (рис.7.5):

а) відстань до найближчого доземного провідника становить $1/4$ відстані з табл. 7.1 чи менше;

б) відстань до обох суміжних струмовідводів становить половину відстані згідно з табл. 7.1 або є меншою.

В будівлях з навісною частиною, для того щоб знизити ймовірність того, що людина, яка стоїть під навісною конструкцією, стане альтернативним шляхом струму блискавки, що протікає по прокладеному по стіні доземному провіднику, фактичне розташування d (рис.7.6) має задовольняти наступні умови $d > 2,5 + s$, де s - безпечна ізоляційна відстань.

Значення 2,5 визначає висоту на рівні кінчиків пальців людини, коли вона витягує свою руку вертикально. Якщо відстань d не задовільняє умову ($d < 2,5 + s$), провідник, який проходить під навісною частиною, потрібно ізолювати або екранувати.

Компоненти LPS повинні бути виконані з матеріалів, перелічених у табл. 7.2., або з інших матеріалів з рівноцінними механічними, електричними і хімічними (корозія) технічними характеристиками. LPS слід виготовляти з антикорозійних матеріалів, наприклад, міді, алюмінію, нержавіючої і оцинкованої сталі. При цьому для кріплень можна використовувати компоненти, виготовлені з неметалевих матеріалів (пластик).

Таблиця 7.2 – Матеріали LPS та умови використання (табл.5. ДСТУ EN 62305-3:2021)

Матеріал	Використання			Корозія		
	Просто неба	У землі	У бетоні	Тривкість	Збільшується за рахунок	Може бути зруйновано через гальванічний зв'язок з
Мідь	Одножильний Багатожильний	Одножильний Багатожильний Як покриття	Одножильний Багатожильний Як покриття	Добра у багатьох середовищах	Сполуки сірки Органічні матеріали	—
Гарячеповуглецева сталь ^{c, d, e}	Одножильний Багатожильний ^b	Одножильний	Одножильний Багатожильний ^b	Прийнятна у повітрі, у бетоні та у доброякісному ґрунті	Високий вміст хлоридів	Мідь
Сталь з гальванічним покриттям	Одножильний	Одножильний	Одножильний	Добра у багатьох середовищах	Сполуки сірки	—

з міді						
Нержавка сталь	Одножильний Багатожиль- ний	Одножиль- ний Багатожиль- ний	Одножиль- ний Багатожиль- ний	Добра у багатьох середови- щах	Високий вміст хлоридів	—
Алюміній	Одножильний Багатожиль- ний	Непри- датний	Непри- датний	Добра в атмосфері з низькою концентра- цією сірки та хлоридів	Розчини лугів	Мідь
Свинець ^f	Одножильний Як покриття	Одножиль- ний Як покриття	Непридат- ний	Добра в атмосфері з високою концентра- цією сульфатів	Кислі грунти	Мідь Нержавію- ча сталь

^a У цій таблиці наведено лише загальні рекомендації. В особливих випадках рекомендують детальніше розглянути питання щодо захисту від корозії (див. додаток Е).

^b Багатожильні провідники більш схильні до корозії, ніж одножильні провідники. Багатожильні провідники також вразливі в точках входу чи виходу із землі/бетону. Це є причиною того, чому не рекомендують використовувати багатожильні провідники з цинкованої сталі в землі.

^c Цинкована сталь може піддаватися корозії у глинистому чи вологому ґрунті.

^d Цинкована сталь у бетоні не повинна виходити в ґрунт унаслідок небезпеки можливої корозії сталі через близьке розташування від бетону.

^e Цинковану сталь, що контактує зі сталевим риштунком залізобетону, не треба використовувати у прибережних районах, де ґрунтові води можуть містити сіль.

^f Використання свинцю в землі часто заборонено чи обмежено з міркувань захисту довкілля.

З практичного досвіду для зручності в монтажі, в якості доземного провідника, який виконується відкрито по фасаду, для більшості типів фасадів рекомендуємо використовувати твердий алюмінієвий дріт $\varnothing$ 8 мм.

При влаштуванні доземних провідників методом натягування рекомендуємо використовувати оцинкований дріт $\varnothing$ 8 мм (арт. W-08/ST), який є менш пластичним в порівнянні з алюмінієвим.

Доземні провідники можуть бути виконані з відмінних від блискавкоприймачів матеріалів, але в такому випадку потрібно зважати на контакти агресивних між собою матеріалів: міді з оцинкованою сталлю або алюмінієм.

Приклад: блискавкоприймачі і провідники по покрівлі виконані з міді, доземні провідники виконані з оцинкованої сталі, приєднання доземних

провідників до провідників системи перехоплення виконані з допомогою біметалічних з'єднувачів (CU/OC або NI).

7.2. Уземлювачі, їх типи та особливості розміщення

Система земляного закінчення - частина зовнішньої системи блискавкозахисту, призначена для відводу струму блискавки в землю і його розтікання в землі. Задачою системи земляного закінчення є відвід струму блискавки в землю, вирівнювання потенціалів між доземними провідниками та контроль потенціалу поблизу провідних стін будівлі.

Для нових будівель рекомендується розглянути можливість влаштування кільцевого провідника в фундаменті будівлі або можливість використання в якості природнього уземлювача взаємопов'язаної сталі риштунку у бетонному фундаменті. Таке рішення може спростити LPS та здешевити її інсталяцію для замовника. Але забезпечення такого рішення є можливим лише на стадії проєктування будівлі, ще до виконання фундаменту, тому для збудованих будівель та споруд використання природнього уземлювача не буде прийнятним.

Для влаштування проєктного уземлювача спершу необхідно вибрати тип розміщення уземлюючих пристроїв, який найбільше підійде для конкретної будівлі чи споруди. Якщо будівля вже збудована, уземлюючий пристрій потрібно влаштовувати зовні будівлі. Якщо будівля ще на стадії проєктування, можна передбачити встановлення заземлюючого провідника у фундаменті будівлі.

Відповідно до ДСТУ EN 62305-3:2021 розрізняють 2 типи розміщення уземлюючих пристроїв: розміщення типу А і розміщення типу В. Кільцевий уземлюючий провідник, що встановлений у фундаменті будівлі, вважається розміщенням типу В.

Розміщення типу А – включає вертикальні або горизонтальні електроди, розміщені за межами будинку, які приєднані до кожного доземного провідника. При цьому типі розміщення загальна кількість пристроїв уземлення повинна бути не менше 2-х (відповідно до мінімальної к-сті доземних провідників).

Уземлюючі електроди повинні бути прокладені на глибині по верхньому краю не менше 0,5 м і, по можливості, розподілятися рівномірно, щоб звести до мінімуму вплив електричної взаємодії в землі. Якщо уземлюючі влаштовуються в ревізійному колодязі, вимоги щодо глибини влаштування 0,5 м дотримуватись не потрібно.

Вертикальні уземлювачі, що приєднані до кожного доземного провідника та з'єднані між собою горизонтальним провідником (наприклад, смугою) в землі не по всій довжині (тобто кільце є розірваним), також вважаються розміщенням типу А.

Розміщення типу А дозволяється влаштовувати для:

- невеликих житлових будівель для однієї сім'ї;
- невеликих господарських та побутових будівель (гараж, сауна, гостьовий будинок);

- LPS з використанням вертикальних стрижневих блискавкоприймачів;
- системи блискавозахисту з використанням тросів;
- ізольованої LPS;
- існуючих споруд (тобто у випадку, коли будівля існуюча і через обмеження в благоустрої не має можливості виконати уземлення з розміщенням типу В).

Розміщення типу В – являє собою горизонтальний кільцевий провідник, що встановлений за межами будівлі та прокладений в землі не менше ніж на 80% своєї довжини, або кільцевий уземлюючий провідник в фундаменті.

Кільцевий уземлювач потрібно влаштовувати на глибині не менше 0,5 м та на відстані > 1 м від стін. Для того, щоб зменшити еквівалентний опір уземлення, до кільцевого провідника додають вертикальні уземлюючі електроди в місцях приєднання доземних провідників.

Розміщення типу В потрібно влаштовувати для:

- LPS з використанням сітчастої системи блискавкоприймача;
- LPS з багатьма доземними провідниками;
- вибухонебезпечних будівель;
- будівель з комплексними електронними системами або з високим ризиком пожежі;
- будівель, розміщених на скелястому, позбавленому рослинності ґрунті.

Розміщення уземлюючих пристроїв типу В є більш рекомендованим, оскільки розміщення типу А не забезпечує вирівнювання потенціалів між доземними провідниками та контроль потенціалу поблизу провідних стін будівлі.

За використання розміщення уземлення типу А, необхідне еквіпотенційне сполучення для усіх електродів можна забезпечити за допомогою еквіпотенційних сполучних провідників та сполучних шин.

Влаштування уземлювача типу В обов'язково використовувати для:

- нових будівель (нове будівництво) де використовується блискавкоприймальна сітка або є велика кількість доземних провідників;
- вибухонебезпечних будівель;
- будівель на скелястому ґрунті.

Розміщення уземлення типу А. Вертикальні та радіальні уземлюючі електроди при цьому типі розміщення повинні з'єднуватися з нижніми кінцями доземних провідників з використанням контрольних з'єднань. Кожен доземний провідник повинен мати уземлюючий пристрій.

Уземлюючі електроди повинні бути прокладені на глибині по верхньому краю не менше 0,5 м і, по можливості, розподілятися рівномірно, щоб звести до мінімуму вплив електричної взаємодії в землі.

- Мінімальна довжина кожного вертикального уземлювального електроду для класів LPL III і IV складає 2,5 м.

- Мінімальна довжина кожного вертикального уземлювального електроду для класів LPL I і II розраховується за формулою: $0,5 \cdot L_1$, де L_1 обирається з графіку рис.7.7 залежно від питомого опору ґрунту.

При цьому для всіх LPL до визначеної мінімальної довжини потрібно додати 0,5 м, оскільки верхня частина уземлюючого пристрою вважається не ефективною через промерзання.

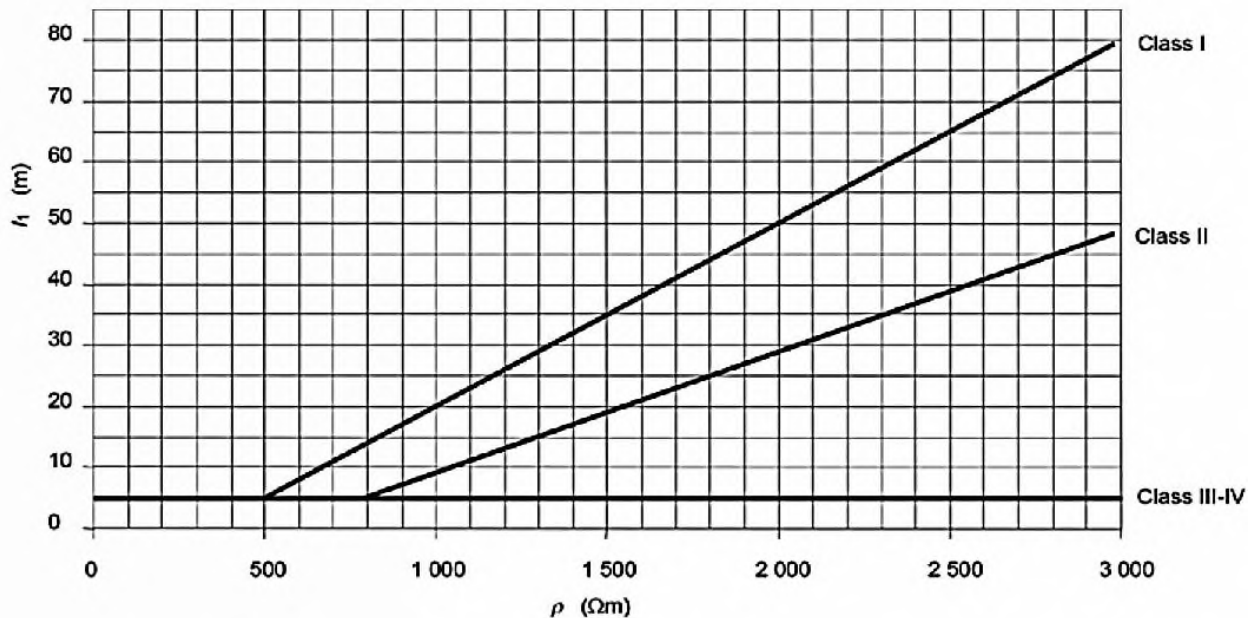


Рисунок 7.7 – Мінімальна довжина l_1 кожного уземлювального електроду відповідно до класу LPS

При розміщенні уземлення типу А рекомендовано використовувати наступні варіанти розташування уземлюючих пристроїв на одну точку земляного закінчення, як показано на рис. 7.8

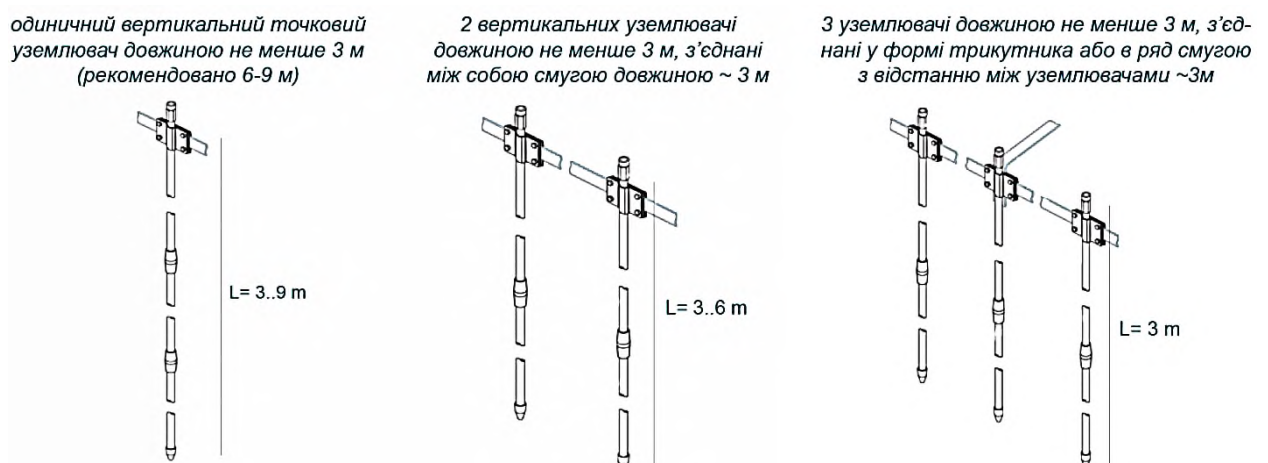


Рисунок 7.8 – Варіанти розміщення уземлюючих пристроїв

Основна рекомендація до розміщення типу А: опір уземлення повинен складати менше 10 Ом в будь-яку пору року.

Розміщення уземлення типу В. Для такого типу розміщення уземлювальних пристроїв потрібно прокласти горизонтальний кільцевий

уземлювач навколо захищеної будівлі, при цьому 80% довжини уземлювача повинні бути у контакті з землею. Інші 20% довжини можуть проходити над землею, наприклад, по нижньому рівню фасаду.

Для розміщення типу В, кільцевий провідник завжди має бути повністю з'єднаний по всій його загальній довжині. Уземлюючий провідник можна прокласти в фундаменті будівлі. Кільцевий уземлювач потрібно влаштовувати на глибині не менше 0,5 м та на відстані не менше 1 м від стін будівлі. Уземлюючі електроди типу В також виконують функцію вирівнювання потенціалу між доземними провідниками на рівні землі, оскільки різні струмовідводи забезпечують різні потенціали через нерівномірний розподіл струмів внаслідок змін в опорі уземлення. Різні потенціали призводять до потоку зрівняльних струмів через кільцеві електроди так, що максимальне підвищення в потенціалі знижується, і системи вирівнювання потенціалу, з'єднані з кільцевими електродами всередині будівлі, забезпечують приблизно такий же потенціал.

Для того щоб знизити еквівалентний опір уземлення, в розташуванні уземлення типу В рекомендовано додати вертикальні уземлюючі електроди з мінімальною довжиною в місцях приєднання доземних провідників. Влаштування додаткових вертикальних електродів може не вимагатись, якщо середній радіус R_e площі, яка охоплюється кільцевим уземлювачем, є більшим від значення L_1 з графіку рис.7.7. Мінімальна довжина додаткових вертикальних електродів L_v для уземлення типу В розраховується за формулою

$$L_v = (L_1 - R_e) / 2, \quad (7.1)$$

де L_1 – обирається з графіку рис.2.24, а R_e - середній радіус площі, яка охоплюється кільцевим провідником.

На рис. 7.9 показаний приклад LPS будівлі з розміщенням уземлення типу В: кільцевий провідник в землі навколо будівлі з додатковими вертикальними уземлювачами в місцях приєднання доземних провідників.

Для будівель, в яких використовуються ізоляційні матеріали (цегла, дерево), без фундаменту зі сталевим риштунком, потрібно встановити земляне закінчення типу В. Альтернативою може бути розміщення типу А із додатковими зрівнювальними провідниками.

У місцях з великою кількістю людей поблизу будинку, що захищається, необхідно забезпечувати контроль потенціалу. Рекомендується встановлювати додаткові кільцеві уземлювачі на відстані приблизно 3 м від першого і наступних кільцевих уземлювачів. Кільцеві провідники встановлюються подалі від будівлі на відстані 7 м на глибині 1,5 м або на відстані 10 м від будівлі і на глибині 2 м. Ці кільцеві уземлювачі повинні з'єднуватися з першим кільцевим уземлювачем за допомогою радіальних електродів.

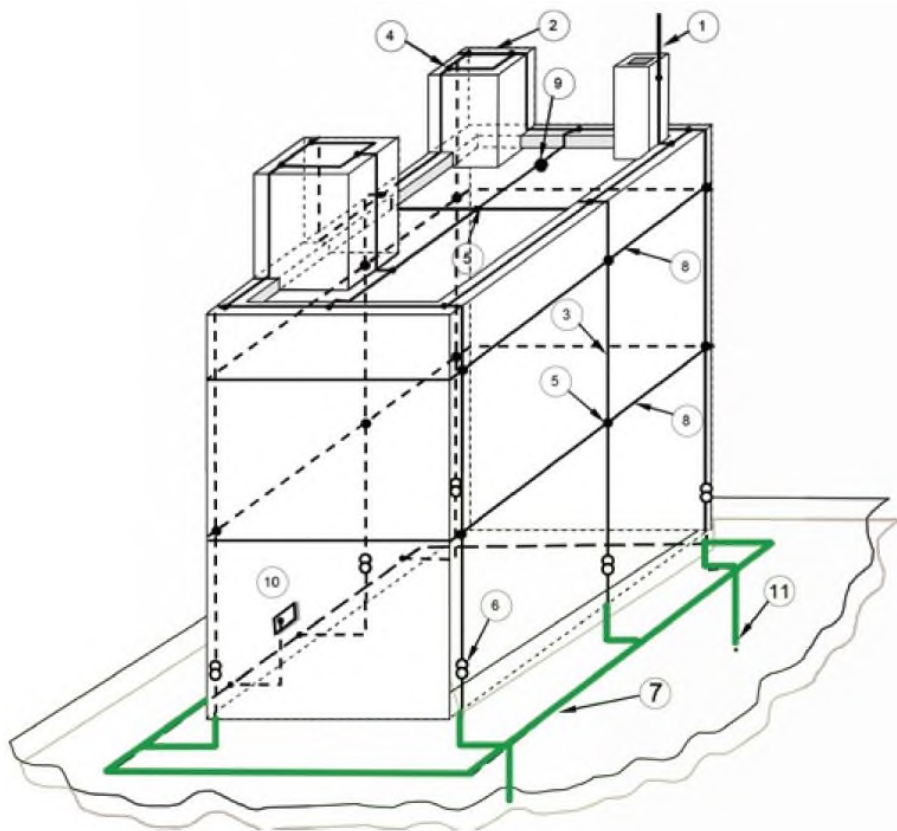


Рисунок 7.9 – Приклад LPS будівлі з розміщенням уземлення типу В

Якщо зона, прилегла до будівлі, має асфальтове покриття низької провідності товщиною 50 мм, для людей, які перебувають в цій зоні, забезпечено достатній захист.

Таблиця 7.3 – Матеріал, конфігурація і мінімальні розміри уземлювальних електродів (табл. 7. ДСТУ EN 62305-3:2021)

Матеріал	Конфігурація	Розміри		
		Діаметр уземлювального стрижня, мм	Провід уземлення, мм ²	Уземлювальна пластина, мм
Мідь, луджена мідь	Багатожильний		50	
	Моножила круглий	15	50	
	Суцільний стрічковий		50	
	Труба	20		
	Суцільна пластина			500x500
	Решітчаста пластина			600x600
Гарячеоцинкована сталь	Моножила круглий	14	78	
	Труба	25		
	Суцільний стрічковий		90	
	Суцільна	d		500x500

	пластина			
	Решітчаста пластина			600x600
	Профіль			
Непокрита сталь ^b	Багатожильний		70	
	Моножила круглий		78	
	Суцільний стрічковий		75	
Поміднена сталь	Моножила круглий	14	50	
	Суцільний стрічковий		90	
Нержавіюча сталь	Моножила круглий	15	78	
	Суцільний стрічковий		100	
^a Механічні та електричні характеристики, а також антикорозійні властивості мають відповідати вимогам майбутньої серії ІЕС 62561. ^b Має бути занурено у бетон щонайменше на 50 мм. ^c Решітчаста пластина складається з провідників принаймні у 4,8 м завдовжки. ^d Допускаються різні профілі з поперечним перерізом 290 мм ² і товщиною принаймні 3 мм, наприклад, хрестовинний профіль. ^e У разі застосування розміщення системи тип В фундаментного уземлювача, уземлювальний електрод має ^f бути з'єднаний належним чином принаймні що кожні 5 м зі сталлю риштунку залізобетону.				

Для системи земляного закінчення можна використовувати компоненти, що виконані з матеріалів, перелічених у табл. 7.3. Непокрита сталь - має бути занурено у бетон щонайменше на 50 мм. Решітчаста пластина складається з провідників принаймні у 4,8 м завдовжки. Допускаються різні профілі з поперечним перерізом 290 мм² і товщиною принаймні 3 мм. У разі застосування розміщення системи типу В фундаментного уземлювача, уземлювальний електрод має бути з'єднаний належним чином принаймні що кожні 5 м зі сталлю риштунку залізобетону.

Болтові з'єднання стержня уземлювача з половою в ґрунті потрібно захистити від корозії обгортками з антикорозійної стрічки. Сталеві провідники системи земляного закінчення, які виходять з ґрунту чи бетону, у точці входу до повітряного середовища потрібно захистити від корозії на довжині 0,3 м антикорозійною стрічкою. Для провідників з міді чи нержавіючої сталі такого захисту виконувати не потрібно.

Література:

1. Тищенко Є.О., Кальченко Я.Ю. Конспект лекцій. Аудит блискавкозахисту будівель і споруд. – Черкаси : НУЦЗУ, 2025. – 118 с.

2. Захист від блискавки. Частина 1. Загальні принципи (EN 623051:2011, IDT): ДСТУ EN 62305-1:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
3. Захист від блискавки. Частина 2. Керування ризиками (EN 623052:2010, IDT): ДСТУ EN 62305-2:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
4. Захист від блискавки. Частина 3. Фізичні руйнування споруд та небезпека для життя людей (EN 62305-3:2011, IDT): ДСТУ EN 62305-3:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
5. Захист від блискавки. Частина 4. Електричні та електронні системи, розташовані в будинках і спорудах (EN 62305-4:2010, IDT): ДСТУ EN 623054:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
6. Денис О., Степура Ю., Жарков В. Методичні рекомендації з розрахунку та проектування систем блискавкозахисту. Професійний блискавкозахист. – Львів: ТЗОВ «ФС блискавкозахист», 2023. – 118с
7. Монтаж пристроїв блискавкозахисту будівель та споруд: навчальний посібник / Ю. П. Войтюк, Д. Г. Писаренко. – Вінниця: ВНТУ, 2021. – 94 с.

Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення доземного провідника?
2. Яким чином необхідно розміщувати доземні провідники?
3. Матеріали зовнішньої системи блискавкозахисту та умови їх використання?
4. Назвіть типові способи з'єднання стрижнів риштунку у бетоні?
5. Де встановлюють доземні провідники?
6. Яким чином необхідно прокладати доземні провідники?
7. Що таке система земляного закінчення?
8. Які розрізняють типи розміщення уземлюючих пристроїв?
9. Де дозволяється застосовувати розміщення уземлюючих пристроїв типу А?
10. Де дозволяється застосовувати розміщення уземлюючих пристроїв типу В?

ЛЕКЦІЯ 8. МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ БЛИСКАВКОЗАХИСТУ

План лекції

- 8.1. Середньорічна тривалість гроз для заданого міста України.
- 8.2. Види блискавкозахисту будівель і споруд та їх основні елементи.
- 8.3. Метод блискавкоприймальної сітки.
- 8.4. Метод сфери, що котиться.
- 8.5. Метод захисного кута.

8.1. Середньорічна тривалість гроз для заданого міста України

Параметрами, що визначаються при проектуванні системи блискавкозахисту є: середня за рік тривалість гроз, щільність ударів блискавок на 1 км² земної поверхні за рік, очікувана кількість уражень об'єкта блискавками за рік та інші.

Статистичні дані про грозову діяльність накопичувалися в Україні з 1936 року за даними спостережень на метеорологічних, польових та гірських станціях. За результатами досліджень складено карту середньої за рік тривалості гроз, яка для території України подана на рис. 2.1. Тривалість гроз фіксується як часовий проміжок між першим та останнім громом для однієї грози.

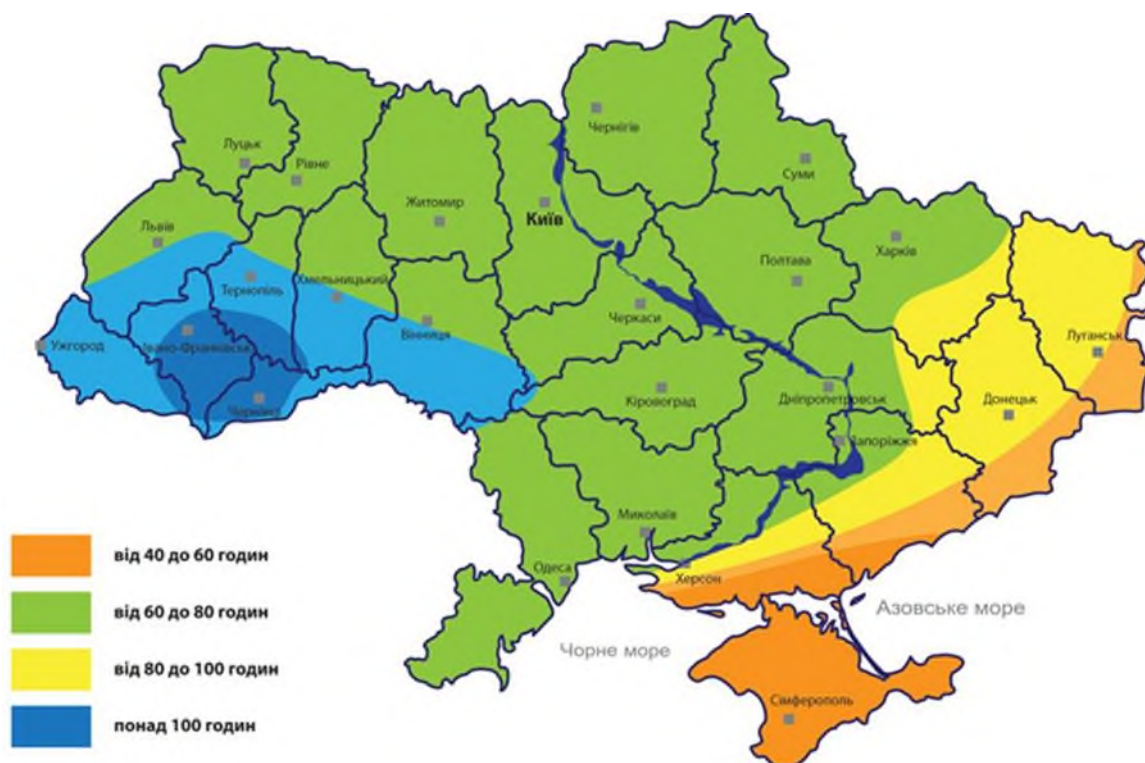


Рисунок 8.1 – Карта середньої за рік тривалості гроз для території України

Другою характеристикою грозової діяльності є щільність ударів блискавок на 1 км² земної поверхні за рік. Щільність ударів блискавок в землю сильно коливається по регіонах Земної кулі. Є тенденція до зростання

щільності ударів блискавок в землю від полюсів до екватора. Щільність ударів блискавок різко зменшується в пустелях і зростає в регіонах з інтенсивними процесами випаровування (тропіки), де досягає значення 20÷30 розрядів на 1 км² землі в рік.

Особливо великий вплив рельєфу у гірській місцевості, де грозові фронти поширюються переважно по вузьких коридорах, і можливі різкі коливання щільності розрядів блискавок в землю.

Щільність ударів блискавок на 1 км² земної поверхні на рік визначається за даними метеорологічних спостережень у місці розташування об'єкта. При розрахунку очікуваної кількості уражень об'єкта блискавками за рік використовуються наступні припущення: об'єкт "приймає" на себе розряди всіх блискавок, які за його відсутності вразили б поверхню землі певної площі (так звану "поверхню стягування"); поверхня стягування має форму кола для зосереджених споруд (вертикальні труби або вежі) і форму прямокутника для споруд прямокутної форми та протяжних об'єктів; очікувана кількість уражень об'єкта блискавками за рік дорівнює добутку площі стягування на щільність ударів блискавок на 1 км² земної поверхні на рік у місці його (об'єкта) розташування. Можна очікувати не більше одного ураження об'єкту блискавкою за 3-4 роки.

8.2. Види блискавкозахисту будівель і споруд та їх основні елементи

З метою захисту об'єктів від небезпечних проявів блискавки розраховуються та проектується системи блискавкозахисту. Блискавкозахист будівель і споруд є системним вирішенням проблеми їх ураження блискавкою. Блискавкозахист передбачає застосування комплексу дій, технічних рішень, використання спеціальних пристосувань, які мінімізують наслідки потрапляння блискавки в об'єкт.

Класична або пасивна система блискавкозахисту являє собою таку конфігурацію: блискавкоприймач, блискавковідвід, заземлювач та пристрій урівноваження потенціалів. Такі системи блискавкозахисту можна ще назвати зовнішніми, вони перехоплюють удар блискавки та відводять його у землю, тому є ефективнішими та безпечнішими за внутрішні, які призначені для захисту від стрибків перенапруги, що виникли в результаті непрямого попадання блискавки. Проте активна система блискавкозахисту є більш сучасною та досконалою. У даному випадку використання активного обладнання штучно створює навколо себе іонізоване поле, яке генерує зустрічний до блискавки струмовий розряд за рахунок більш високої напруги. Це, в свою чергу, притягує розряд блискавки до блискавкоприймача. Функція системи блискавкозахисту полягає у захисті конструкцій від пожежі чи механічних руйнувань, забезпеченні збереження та коректної роботи електрообладнання та у запобіганні тому, що люди у будівлях отримують травми або навіть можуть загинути. Основними елементами блискавкозахисту є блискавкоприймач, струмовідводи, заземлювачі.

Блискавкоприймачі – це металеві стрижні або труби, встановлені в кожній виступаючій високій точці будівлі, призначені для перехоплення блискавки. Такий пристрій встановлюється на максимальній розрахунковій висоті даху будинку або іншої конструкції. Кількість та висота блискавкоприймачів залежить від архітектури даху та розрахункового радіуса захисту об'єкта.

Струмівідводи – це провідники, які можуть бути мідними або алюмінієвими кабелями, вони забезпечують з'єднання між блискавкоприймачем та заземлюючим пристроєм, щоб спрямувати удар блискавки глибоко в землю, де він може безпечно розсіюватися. Обирати слід мідь або алюміній, а не їх комбінацію, оскільки між цими елементами може виникати гальванічна або хімічно-корозійна взаємодія.

Заземлювач – гаряче оцинкована смуга та стержні. Заземлення забезпечує контакт із землею, щоб безпечно розсіяти заряд блискавки. Для більшості будівель слід використовувати мінімум два наземних з'єднання; для більших конструкцій можуть знадобитися додаткові. Тип заземлення може залежати від провідності ґрунту у вашій місцевості.

Внутрішній блискавкозахист – система ПЗІП (Пристрій Захисту від Імпульсних Перенапруг) – комбінований розрядник, підключення TN-C/TNC-S. Захист від перенапруги – це прилад, який забезпечує захист від удару, що потрапляє у будівлю через систему електропроводки, і тим самим викликає потенційні стрибки напруги, які можуть призвести до серйозних пошкоджень електричних пристроїв. Призначення захисту від перенапруги – обмежити напругу, що подається на електричний пристрій, блокуючи або замикаючи на землю будь-які небажані напруги вище безпечного порогу.

Згідно ДСТУ. EN 62305-3 встановлення ізольованої зовнішньої системи блискавкозахисту LPS (Lightning Protection System), яка зазвичай включає спеціальне обладнання для прийому, передачі та відведення електричного струму (удару блискавки). Передбачено чотири класи (I, II, III та IV), які визначаються як набір будівельних правил на основі відповідного рівня блискавкозахисту. Чотири класи LPS (від I до IV), як показано в таблиці 1, визначено в цьому стандарті відповідно до рівнів захисту від блискавки, визначених в EN 62305-1.

Таблиця 8.1 - Співвідношення між рівнями блискавкозахисту (LPL) та класом LPS

LPL	Клас LPS
I	I
II	II
III	III
IV	IV

Кожен клас LPS характеризують такими чинниками:

- а) Даними, залежними від класу LPS (ДСТУ EN 62305-3):
 - параметри блискавки (див. таблиці 3 та 4 в EN 62305-1:2011);

- радіус сфери, що котиться, розмір комірки сітки, значення захисного кута (п. 5.2.2);
- типові оптимальні відстані між доземними провідниками (п 5.3.3);
- роздільна відстань проти небезпечного іскріння (п 6.3);
- мінімальна довжина уземлювальних електродів (п 5.4.2).

б) Чинниками, незалежними від класу LPS:

- еквіпотенційні сполучення блискавкозахисту (див. 6.2);
- мінімальна товщина бляхи чи металевих труб у системі перехоплення (див. 5.2.5);
- матеріали LPS та умови використання (п. 5.5.1);
- матеріал, конфігурації та мінімальні розміри перехоплювачів, доземних провідників та уземлювачів (див. 5.6);
- мінімальні розміри сполучних провідників (п. 6.2.2).

Технічні характеристики кожного класу LPS наведено в додатку В ДСТУ EN 62305-2, а клас необхідної LPS обирається на основі оцінювання ризиків.

Характеристики LPS визначаються характеристиками будівлі, що захищається і рівнем блискавкозахисту.

LPS I (1-й рівень) використовують для розрахунку блискавкозахисту будівель та споруд, в яких наявні вибухонебезпечні зони класів 1, 2, 20, 21. Надійність захисту від удару блискавки для LPS I становить 0,99..0,999.

LPS II (2-й рівень) використовують для розрахунку блискавкозахисту будівель та споруд, в яких наявні пожежо- та вибухонебезпечні зони; будівель обчислювальних центрів, в яких знаходиться чутливе до перенапруг електронне обладнання. Надійність захисту від удару блискавки для LPS II становить 0,95..0,99.

LPS III (3-й рівень) найчастіше використовують для розрахунку блискавкозахисту багатоповерхових житлових будинків, офісних центрів, готелів чи інших громадських будівель, промислових та виробничих будівель, в яких немає пожежо- та вибухонебезпечних зон. Надійність захисту від удару блискавки для LPS III становить 0,9..0,95.

LPS IV (4-й рівень) найчастіше підходить для розрахунку блискавкозахисту невеликих приватних будинків та господарських будівель. Надійність захисту від удару блискавки для LPS IV становить не нижче 0,85.

При наявності правильно спроектованого блискавкоприймача ймовірність проникнення в будівлю струму блискавки значно знижується. Блискавкоприймачі, що встановлюються на будівлі, слід розміщувати по кутах у виступаючих точках і по краях покрівлі, вони можуть складатися з будь-якої комбінації стрижнів (включаючи окремо розташовані щогли), підвісних тросів, сітчастих провідників. Всі типи блискавкоприймачів повинні бути розраховані та розміщені відповідно до вимог п. 5.2.2, 5.2.3, додатку А та додатку Е ДСТУ EN 62305-3.

Відповідно до п. 5.2.2, п. Е.5.2.2 додатку Е та додатку А ДСТУ EN 62305-3, для визначення розміщення блискавкоприймачів можна використовувати один або кілька наступних методів:

- метод сфери, що котиться;
- метод захисного кута;
- метод блискавкоприймальної сітки.

Метод сфери, що котиться, підходить для розрахунку зон захисту блискавкоприймачів у всіх випадках та вважається найбільш точним. Метод захисного кута підходить для розрахунку зон захисту блискавкоприймачів для будівель простої форми (для приватних будинків, сараїв, гаражів), та для захисту окремих конструкцій на будівлі (вентиляційних каналів, коминів, антен, вентиляційного обладнання на дахах будинків), але при цьому застосовуються обмеження по розрахунковій висоті блискавкоприймача, яка зазначена в Таблиці 2 ДСТУ EN 62305-3. Метод блискавкоприймальної сітки використовують для захисту рівних поверхонь (наприклад, для будинків з плоскою покрівлею або з рівною скатною покрівлею з невеликим ухилом).

8.3. Метод блискавкоприймальної сітки

Метод блискавкоприймальної сітки використовують для захисту рівних поверхонь (наприклад, для будинків з плоскою покрівлею). Відповідно до ДСТУ EN 62305-3:2021, блискавкоприймальна сітка, розміщена на рівних поверхнях, захищає всю поверхню, якщо виконуються умови:

- а) провідники сітки прокладені по:
 - краю даху та виступах;
 - конику даху, якщо ухил перевищує 10%;
 - бокових поверхнях будівлі висотою понад 60 м на рівні вище 80% її висоти;
- б) розміри комірки сітки не перевищують нормативні значення з Таблиці 2 ДСТУ EN 62305-3:2021;
- в) сітка повинна бути виконана так, щоб струм блискавки мав завжди принаймні два різних шляхи до уземлювача;
- г) жодні металеві частини покрівлі не повинні виступати за зовнішні контури сітки (якщо такі елементи є, їх потрібно захищати окремо*);
- д) провідники сітки повинні прокладатись найкоротшими прямими шляхами.

Всі струмопровідні елементи та конструкції, які виступають за межі сітки (наприклад, вентканали, дахове вентиляційне обладнання, антени, труби) повинні додатково захищатись вертикальними блискавкоприймачами методом захисного кута чи сфери. Металеві конструкції, які виступають вище сітки, але в яких висота $\leq 0,3$ м, довжина ≤ 2 м і площа ≤ 1 м², не потребують додаткового захисту згідно Е.5.2.4.2.4.

Параметр W_m – це максимальне значення розміру комірки сітки, не повинно перевищувати нормативне значення з табл. 8.2.

Таблиця 8.2 – Максимальні значення розмірів комірки сітки

Клас LPS	Розмір сітки W_m
I	5x5
II	10x10

III	15x15
IV	20x20

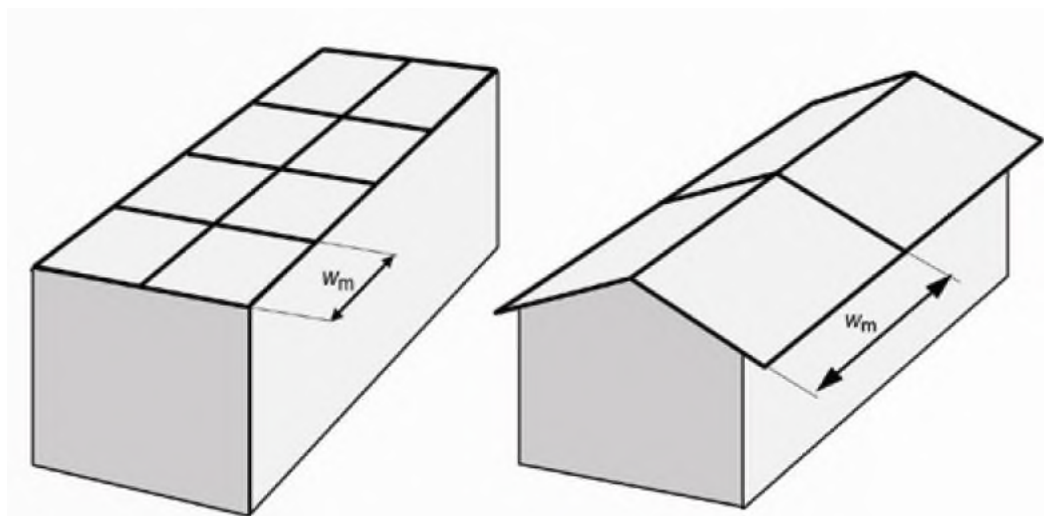


Рисунок 8.2 – Приклади прокладання блискавкоприймальної сітки

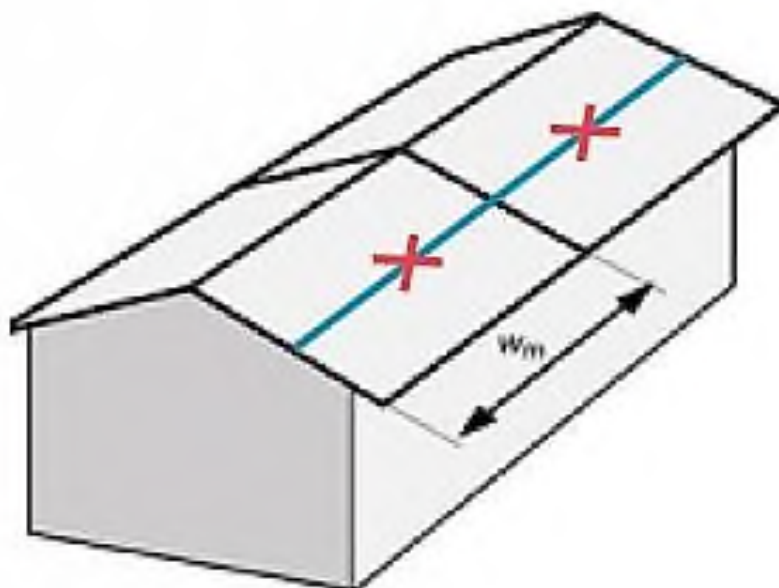


Рисунок 8.3 – Приклади прокладання блискавкоприймальної сітки

Якщо ухил покрівлі перевищує 10%, замість сітки можуть використовуватись паралельні провідники блискавкоприймача, за умови, що відстань між провідниками не перевищує необхідної ширини сітки (тобто прокладаємо провідник по конику та краю даху, а також горизонтальні спуски від коника до краю покрівлі, нехтуючи при цьому горизонтальними лініями між коником та краєм даху). Приклади прокладання блискавкоприймальної сітки представлені на рис.8.2 та рис.8.3.

8.4. Метод сфери, що котиться

Метод сфери, що котиться (RSM - rolling sphere method) потрібно розраховувати та проектувати відповідно до п. Е.5.2.2.2 додатку Е та п.А.2 додатку А ДСТУ EN 62305-3:2021.

При використанні цього методу, моделюємо сферу радіусом R , що котиться навколо всієї будівлі і над нею до тих пір, поки вона торкається з площиною землі або якою-небудь постійною спорудою або об'єктом, дотичним до площини землі, яка здатна діяти в якості провідника блискавки.

Провідники LPS блискавкоприймача повинні бути встановлені на всіх точках і сегментах, які контактують з сферою, радіус якої відповідає обраному рівню захисту.

Об'єкт вважається захищеним, якщо сфера, що котиться, торкаючись поверхні блискавкоприймача і площини, на якій той встановлений, не має спільних точок з об'єктом, що захищається.

Таблиця 8.3 – Значення сфери, що котиться

Клас LPS	Розмір сітки W_m
I	20
II	30
III	45
IV	60

При застосуванні цього методу, захищеною зоною вважається простір між провідником блискавозахисту та землею, яких торкається сфера, що котиться, та в який вона не потрапляє.

Якщо використовується метод сфери, що котиться, то будівля повинна розглядатися з усіх боків, для того щоб переконатися в тому, що жодна з його частин не перебуває в незахищеній зоні.

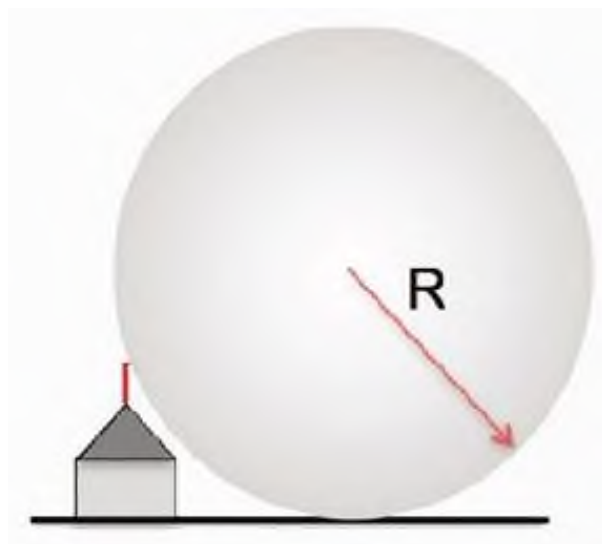


Рисунок 8.4 – Приклад застосування методу сфери, що котиться для об'єктів простої форми

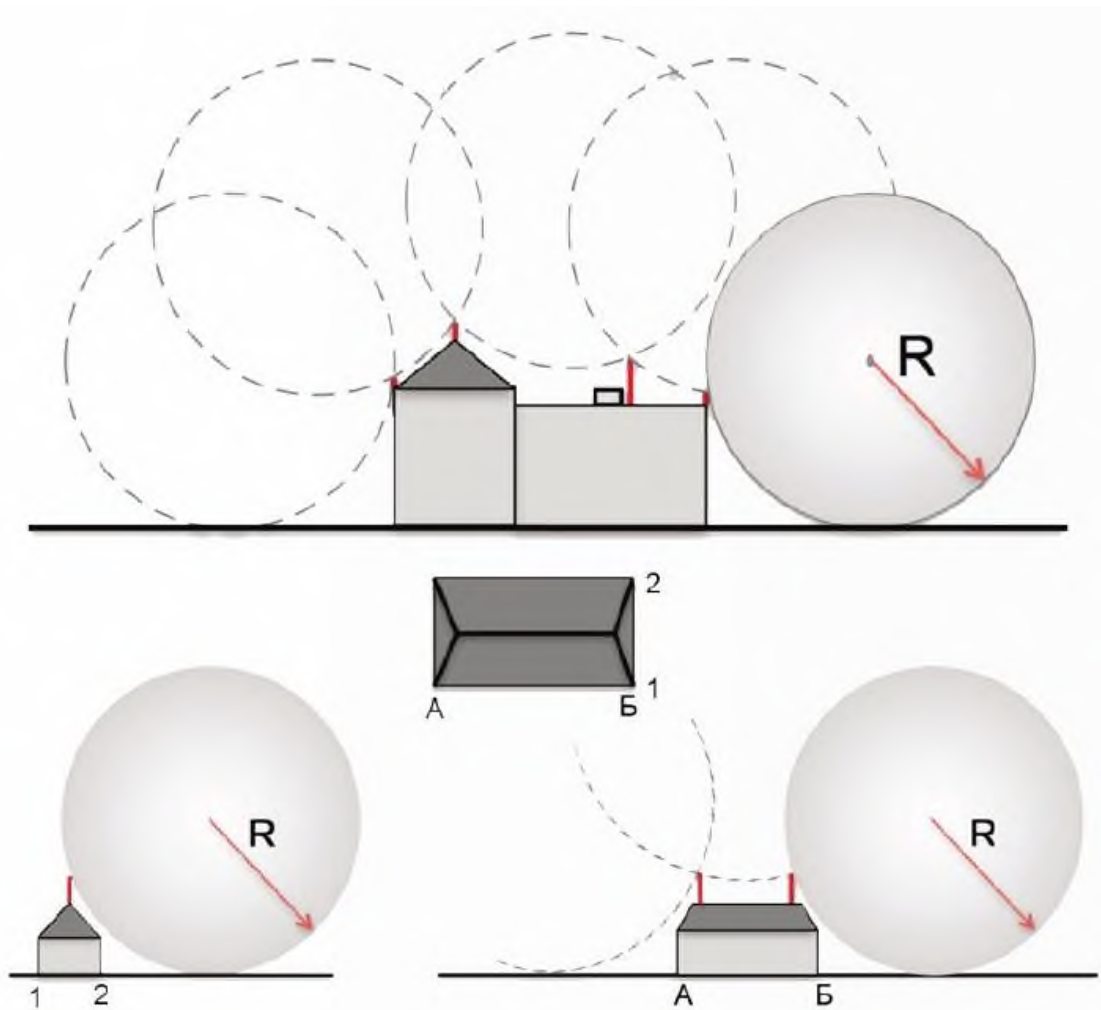


Рисунок 8.5 – Приклад застосування методу сфери, що котиться для об'єктів складної форми

У разі використання двох паралельних горизонтальних провідників блискавкоприймача LPS, розміщених над горизонтальною вихідною площиною, показаною на малюнку, глибину просідання P сфери, що котиться, нижче рівня провідників в просторі між провідниками можна розрахувати за формулою

$$P = R - \left[R^2 - (D/2)^2 \right]^{1/2} \quad (8.1)$$

Даний метод може використовуватися і для розрахунку глибини просідання сфери для 4-х блискавоперехоплювачів, розміщених по 4-х кутах квадрата. За відстань D потрібно приймати відстань між блискавкоприймачами по діагоналі.

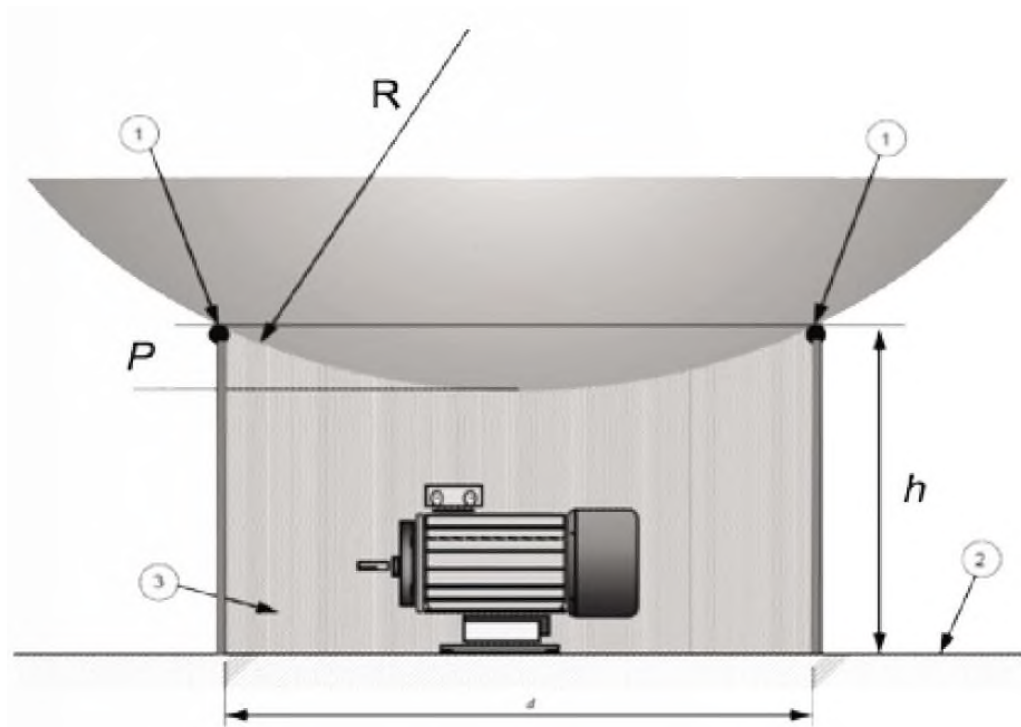


Рисунок 8.6 – Приклад застосування методу сфери, що котиться для захисту обладнання

Приклад: на плоскій покрівлі розміщені двигуни вентиляційного обладнання висотою 2,1 м. Для захисту вентиляційного обладнання по LPL-II за RSM влаштовано 4 вертикальних блискавкоприймачі (БП) висотою 4 м (як показано на рис.8.5). Відстань між БП-1 і БП-3 по діагоналі – 18,87 м. Просідання сфери складає: $P = 30 - \left(302 - (18,87/2)^2\right)^{0,5} = 1,52\text{ м}$.

Отже 4 блискавкоприймачі висотою 4 м створюють зону захисту за RSM з врахуванням просідання сфери для установок висотою $h_x = h_{\text{бп}} - P = 4 - 1,52 = 2,48\text{ м}$. Обладнання висотою 2,1 м повністю знаходиться в зоні захисту за RSM.

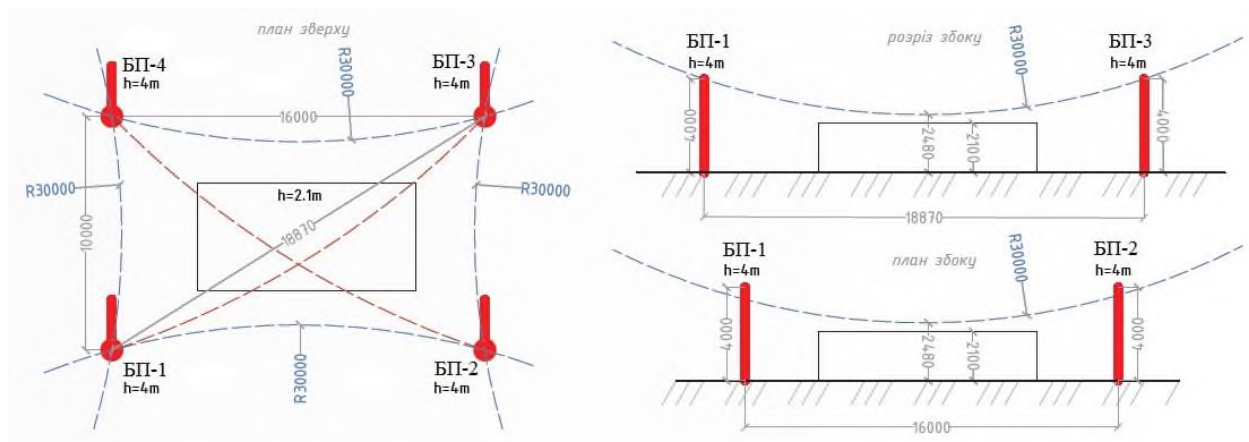


Рисунок 8.7 – Графічне зображення глибини просідання сфери у разі захисту будівлі чи обладнання за допомогою 4-х вертикальних БП, розміщених на великій відстані один від одного (>10 м)

Для зображення максимального просідання сфери за RSM (на прикладі: $R=30$ м для LPL II) на плані зверху вимірюємо найбільшу відстань між БП по діагоналі (між БП-1 та БП-3 висотою по 4 м, відстань по діагоналі 18,87 м). На розрізі на плані збоку накладаємо сферу з $R=30$ м, яка торкається верхівок блискавкоприймачів, та вимірюємо висоту зони захисту з врахуванням найбільшого просідання сфери h_x (на прикладі $h_x=2,48$ м).

На плані збоку показано просідання сфери з $R=30$ м вже з врахуванням найбільшого просідання сфери h_x . При значній висоті вертикальних блискавкоприймачів та великій відстані між ними, також потрібно враховувати просідання сфери, яка наочується збоку на блискавкоприймачі (рис.8.7).

Метод сфери, що котиться рекомендовано використовувати для визначення зон захисту для кількох будівель чи споруд, які знаходяться близько одна біля одної.

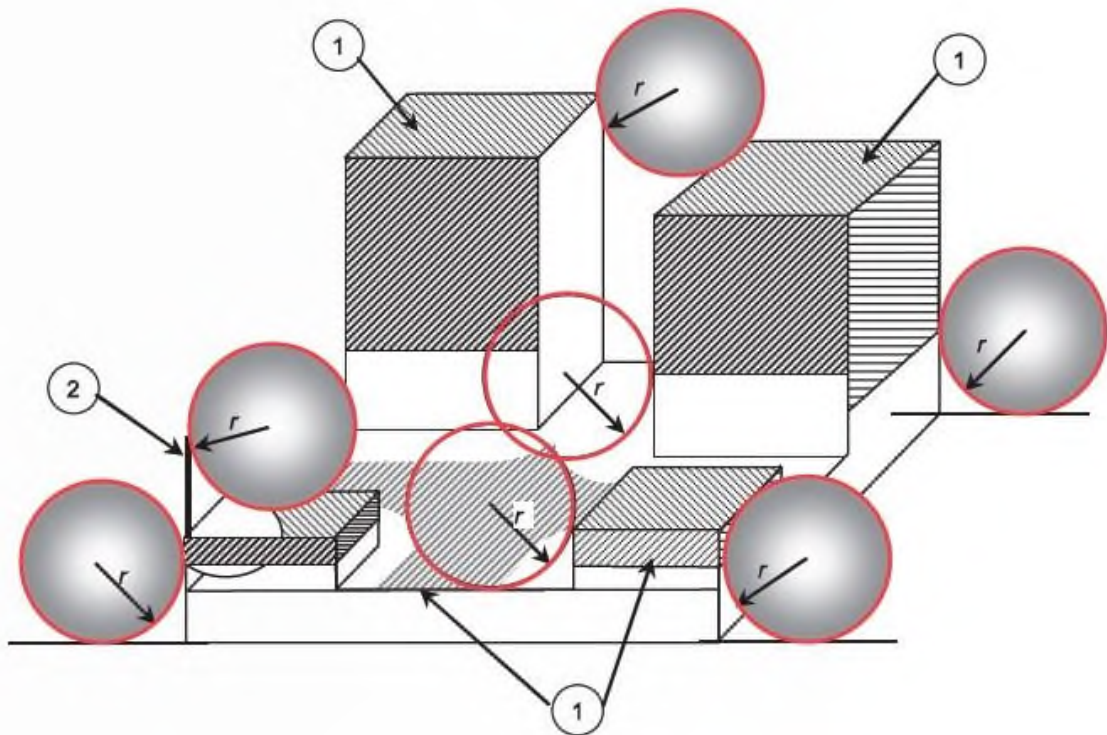


Рисунок 8.8 – Приклад застосування методу сфери, що котиться для декількох об'єктів

Приклад: на рис.8.8 зображено комплекс з високих житлових будівель та торгового центру. Частина покрівлі ТЦ між житловими корпусами та біля них (без штрихування) попадає в зону захисту за RSM та не потребує додаткового захисту.

Будівлі корпусів та частина покрівлі ТЦ, що не входить до зони захисту за RSM (на рис.8.8. заштрихований і позначений 1), потребують влаштування перехоплювачів. Влаштований вертикальний блискавкоприймач (на рис.8.8. заштрихований і позначений 2) також забезпечує захист частини покрівлі за RSM.

8.5. Метод захисного кута

Метод захисного кута розраховується та проектується відповідно до р. Е.5.2.2.1 додатку Е та р. А.1 додатку А ДСТУ EN 62305-3:2021. Метод захисного кута підходить для простих будівель або малих частин великих будівель та може використовуватись в тих випадках, якщо висота блискавкоприймача не є більшою ніж радіус сфери, що котиться, для відповідного класу LPS.

При розрахунку блискавкоприймачів за методом захисного кута, стержневі блискавкоприймачі, щогли і провідники повинні розміщуватись так, щоб всі частини будівлі, що захищається, знаходились в зоні захисту, створеній під кутом α до вертикалі (рис.8.9).

Захисний кут α вибирають з рис. 1 ДСТУ EN 62305-3:2021 відповідно до висоти блискавкоприймача h та класу LPS (рис. 8.10).

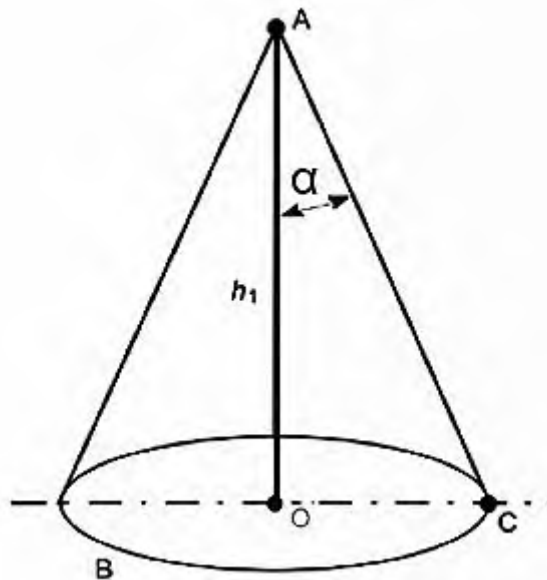


Рисунок 8.9 – Пояснення площі захисту, що визначається захисним кутом

Висота h є висотою блискавкоприймача над захищуваною поверхнею, тому для різної висоти блискавкоприймача кут захисту буде різним.

Тобто значення висоти h буде складати різницю висоти між вершиною фізичного блискавкоприймача та опорною поверхнею: покрівлею, (яка є вже захищеною), або поверхнею землі, як показано на рис.8.11.

Приклад: на рисунку вище для будівлі висотою $H=17$ м з LPL-III для захисту устаткування та частини покрівлі (зліва) опорною площиною буде сама покрівля (якщо вона вже захищена за методом сітки) та висота блискавкоприймача матиме значення $h_1=5$ м і кут захисту становитиме $\alpha_1=700$.

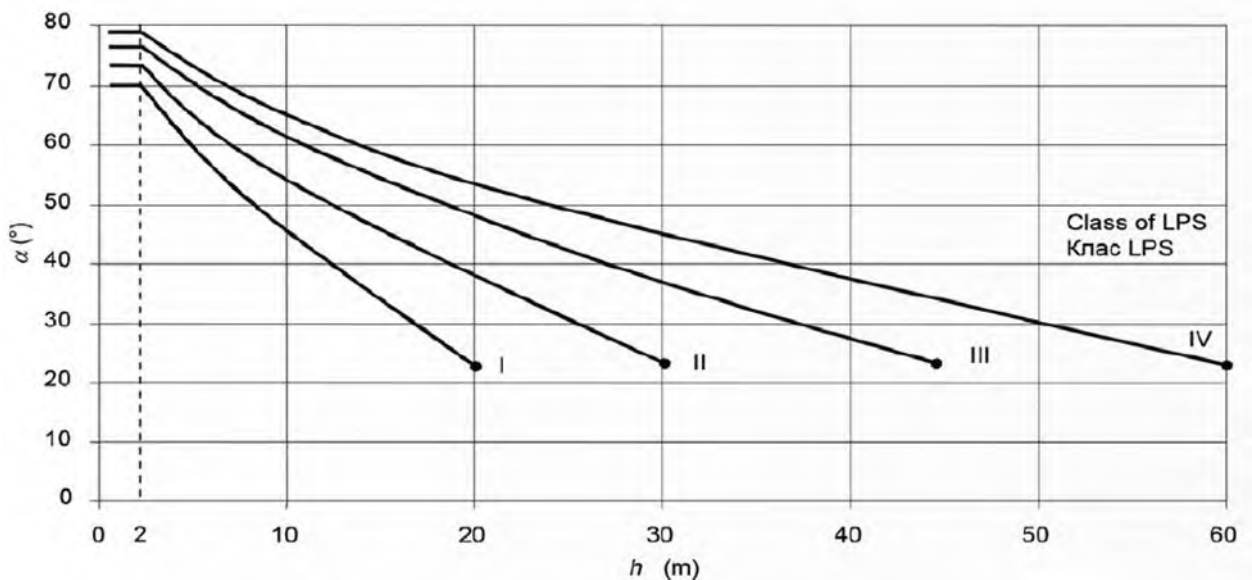


Рисунок 8.10 – Величини захисних кутів для LPS різних класів

Для захисту будівлі та її частин по всій висоті будівлі (справа), опорною площиною буде поверхня землі та висота блискавкоприймача матиме значення суми висоти самого блискавкоприймача та висоти будівлі: $h_2 = h_1 + H = 5 + 17 = 22$ м, тому кут захисту становитиме $\alpha_2 = 46^\circ$.

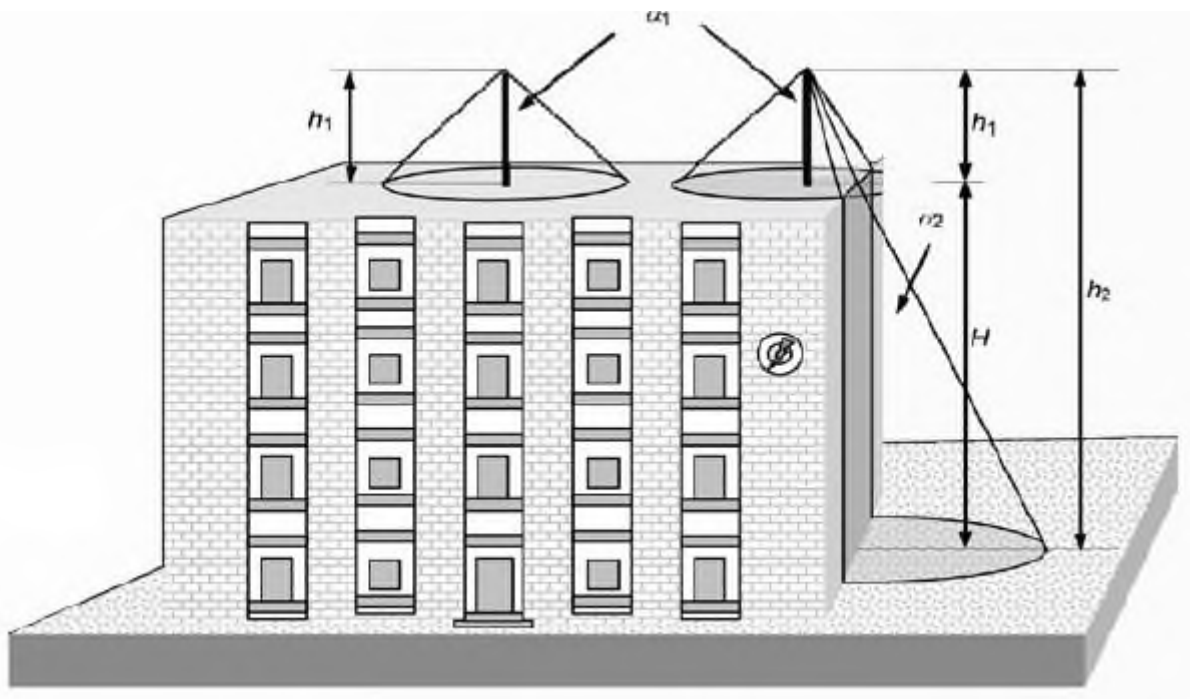


Рисунок 8.11 – Графічне відображення захисних кутів

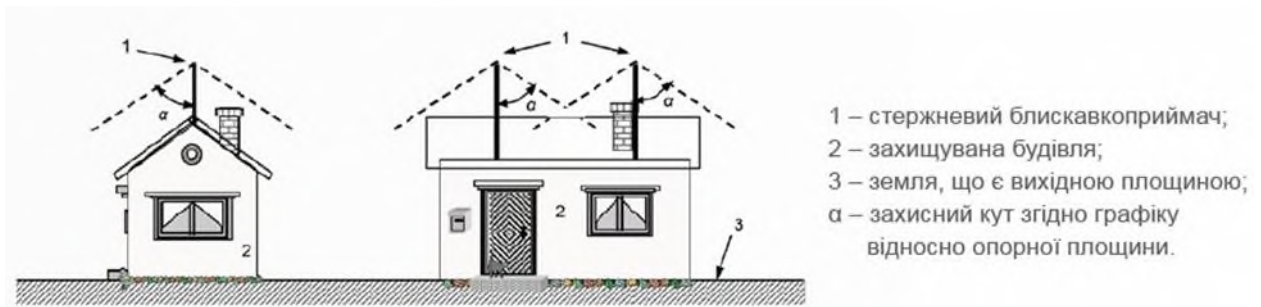


Рисунок 8.12 – Приклад захисту будівлі стрижневим блискавкоприймачем

Будівля на рис. 8.12 вважається захищеною, оскільки всі її елементи знаходяться всередині захисної зони, створеної двома блискавкоприймачами, що розміщені на її покрівлі. При цьому, будівлю потрібно розглядати з усіх боків, щоб переконатись, що жодна з частин будівлі не виступає поза межі захищеної зони.

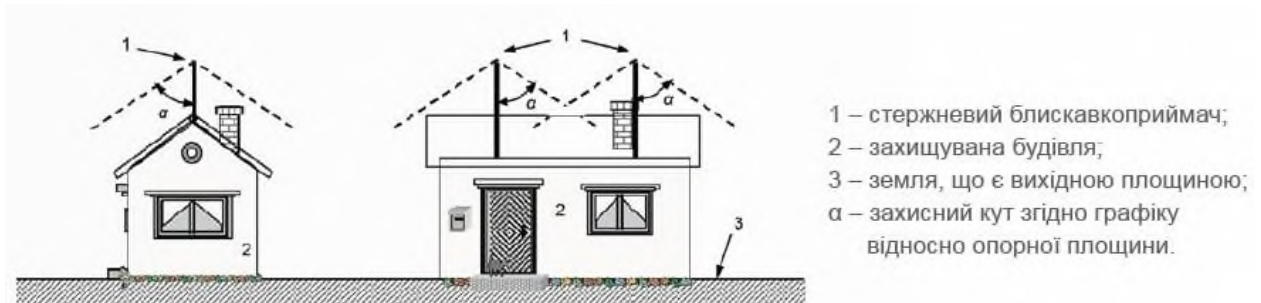


Рисунок 8.12 – Приклад захисту будівлі стрижневим блискавкоприймачем

Будівля на рисунку вище вважається захищеною, оскільки всі її елементи знаходяться всередині захисної зони, створеної провідником під кутом α , який прокладений по конику покрівлі.

Досить поширеною помилкою проєктувальників при зображенні блискавкоприймачів на плані покрівлі, які повинні захищати установки чи обладнання, є зазначення зон захисту блискавкоприймача відносно покрівлі, а не відносно висоти захищуваного обладнання.

При проєктуванні захисту установок чи обладнання від вертикального блискавкоприймача за методом захисного кута, на плані покрівлі потрібно зазначати радіуси захисту на висоті захищуваної установки

Радіус захисту R_x блискавкоприймача висотою $H_{\text{бп}}$ для установки висотою h_x можна розрахувати за формулою

$$R_x = (H_{\text{бп}} - h_x) \cdot \tan(\alpha) \quad (8.2)$$

На плані покрівлі при цьому потрібно зазначити радіус R_x та висоту обладнання h_x , для якої розрахований радіус.

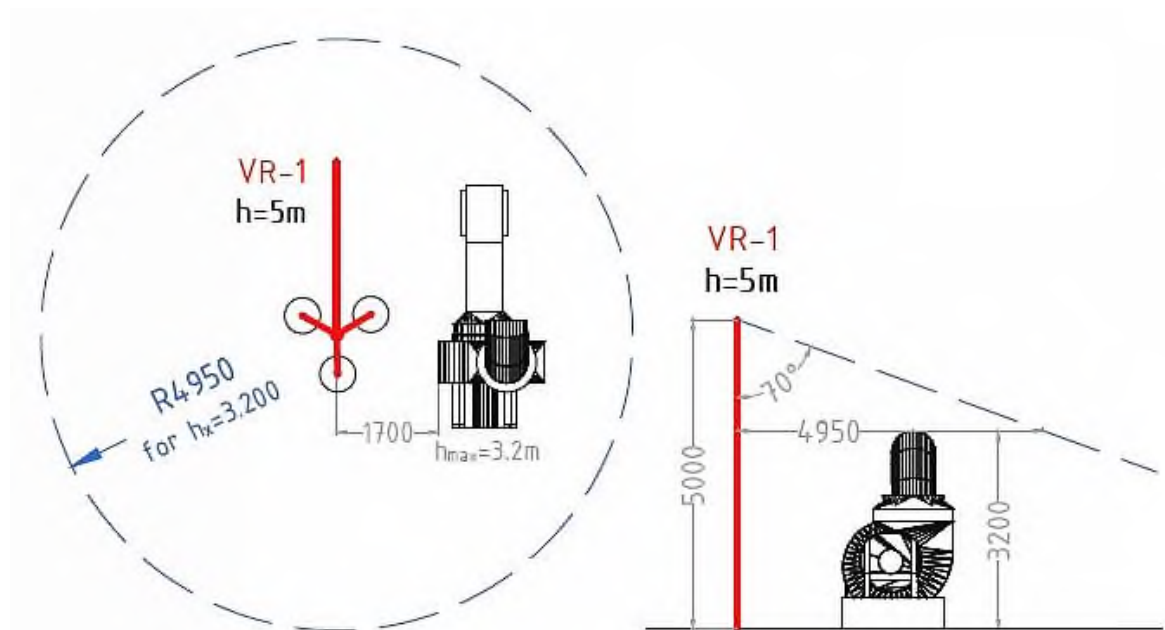


Рисунок 8.13 – Приклад захисту установок стрижневим блискавкоприймачем

Приклад: на об'єкті з LPL-III влаштовано вертикальний блискавкоприймач висотою $H_{\text{бп}} = 5$ м для захисту вентиляційної установки з найбільшою висотою $h_x = 3,2$ м. Захисний кут для блискавкоприймача висотою 6 м при LPL-III складає $\alpha = 70^\circ$. $R_x = (5 - 3,2) \cdot \tan(70) = 4,95$ м. Блискавкоприймач висотою 5 м забезпечуватиме захист установок висотою 3,2 м в радіусі 4,95 м (рис.8.13).

Якщо поверхня, на якій встановлена система блискавкоприймача, є похилою, то вісь конуса, що утворює захисну зону, в такому випадку не буде стрижнем блискавкоприймача, а її потрібно відобразити перпендикулярно до поверхні, на якій знаходиться стрижень блискавкоприймача з вершиною конуса, що дорівнює вершині стрижня блискавкоприймача (рис.8.14).

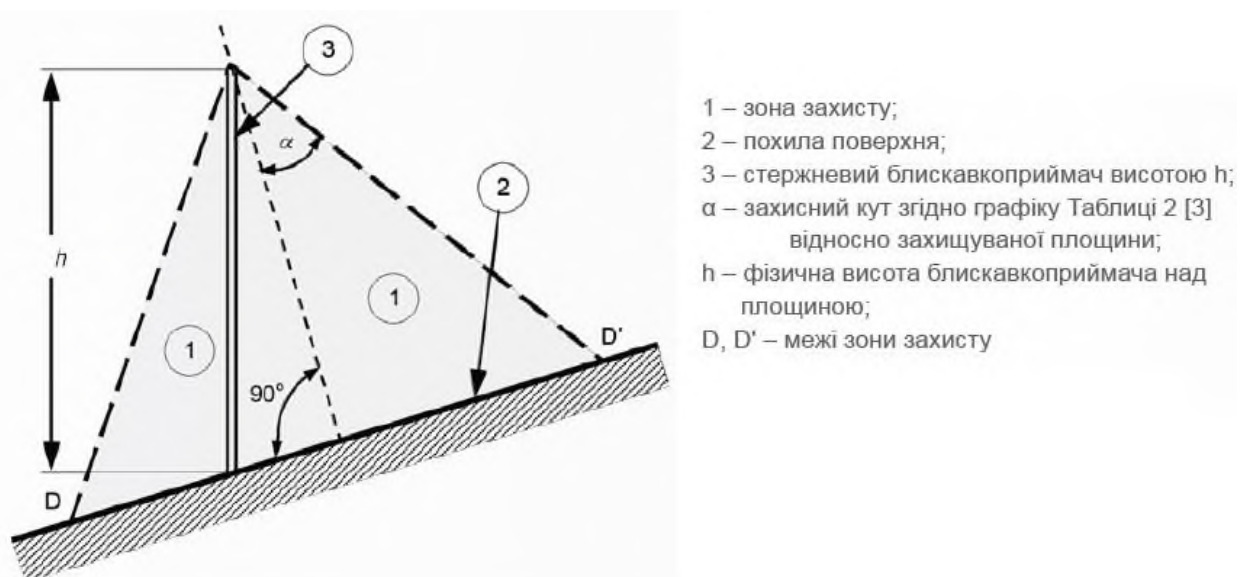


Рисунок 8.14 – Приклад захисту установок стрижневим блискавкоприймачем для похилої поверхні

Для захисту будівлі та розміщених на ній установок і конструкцій можна використовувати одразу кілька методів захисту, наприклад, метод сітки для захисту поверхні покрівлі, методи захисного кута або сфери, що котиться, для захисту прибудов, терас чи розміщеного на будівлі обладнання.

Для захисту будівлі від прямого удару блискавки необхідно розмістити блискавкоприймачі (вертикальні щогли, блискавкоприймальну сітку та інші горизонтальні провідники, троси) таким чином, щоб при розрахунках за одним чи кількома методами захисту, вся будівля, її покрівля та всі конструкції, устаткування чи інші виступаючі над покрівлею частини будівлі, знаходились в зонах захисту, утворених внаслідок розміщення блискавкоприймачів.

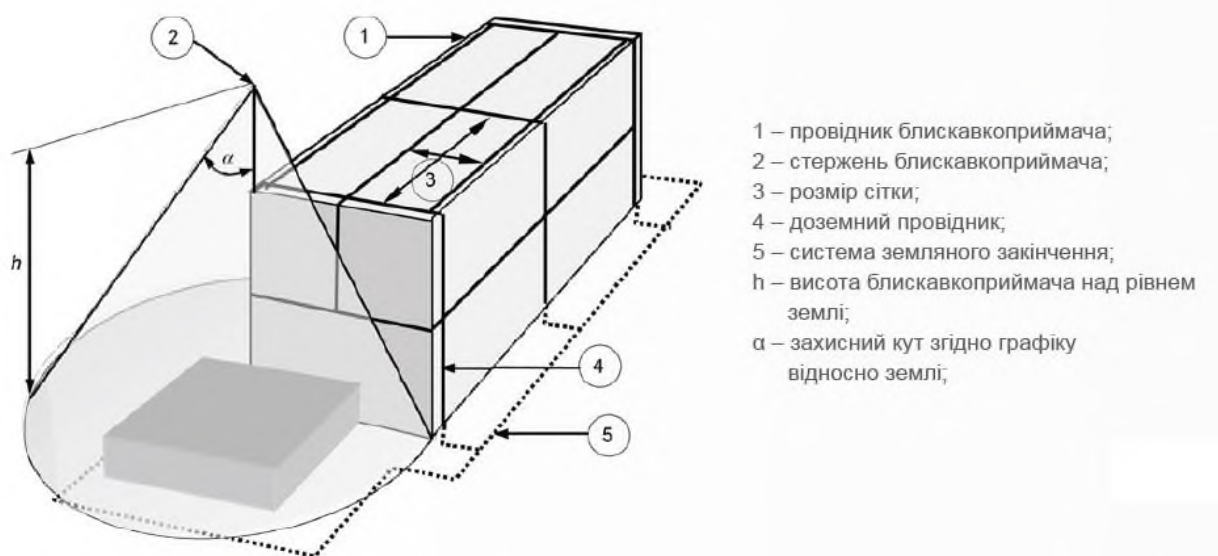


Рисунок 8.15 – Приклад захисту установок комбінованим способом

При цьому щогли, блискавкоприймальна сітка та інші елементи блискавкоприймачів повинні бути з'єднані між собою в одну систему, як показано на рис.8.15.

Література:

1. Тищенко Є.О., Кальченко Я.Ю. Конспект лекцій. Аудит блискавкозахисту будівель і споруд. – Черкаси : НУЦЗУ, 2025. – 118 с.
2. Захист від блискавки. Частина 1. Загальні принципи (EN 623051:2011, IDT): ДСТУ EN 62305-1:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
3. Захист від блискавки. Частина 2. Керування ризиками (EN 623052:2010, IDT): ДСТУ EN 62305-2:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
4. Захист від блискавки. Частина 3. Фізичні руйнування споруд та небезпека для життя людей (EN 62305-3:2011, IDT): ДСТУ EN 62305-3:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).

5. Захист від блискавки. Частина 4. Електричні та електронні системи, розташовані в будинках і спорудах (EN 62305-4:2010, IDT): ДСТУ EN 623054:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
6. Денис О., Степура Ю., Жарков В. Методичні рекомендації з розрахунку та проектування систем блискавкозахисту. Професійний блискавкозахист. – Львів: ТзОВ «ФС блискавкозахист», 2023. – 118с
7. Монтаж пристроїв блискавкозахисту будівель та споруд: навчальний посібник / Ю. П. Войтюк, Д. Г. Писаренко. – Вінниця: ВНТУ, 2021. – 94 с.

Питання для самоконтролю

1. Які параметри зовнішнього середовища визначаються при проектуванні системи блискавкозахисту?
2. Назвіть основні елементи системи блискавкозахисту?
3. Назвіть методи розміщення блискавкоприймачів?
4. Які існують рівні блискавкозахисту?
5. Для яких об'єктів доцільно проектувати систему блискавкозахисту методом блискавкоприймальної сітки?
6. Для яких об'єктів доцільно проектувати систему блискавкозахисту методом сфери, що котиться?
7. Для яких об'єктів доцільно проектувати систему блискавкозахисту методом захисного кута?
8. Де необхідно установлювати блискавкоприймачі?
9. Яка зона вважається захищеною при проектуванні системи блискавкозахисту методом сфери, що котиться?
10. Де повинні прокладатися провідники при проектуванні системи блискавкозахисту методом блискавкоприймальної сітки?

ЛЕКЦІЯ 9. ПІДБІР SPD ДЛЯ БУДІВЕЛЬ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.

План

9.1. Загальні відомості про пристрої захисту від імпульсних перенапруг (ПЗІП) – surge protective device (SPD)

9.2. Обґрунтування необхідності влаштування ПЗІП (SPD)

9.1. загальні відомості про пристрої захисту від імпульсних перенапруг (ПЗІП) – surge protective device (SPD)

В електричних мережах може виникати імпульсна (короткочасна) перенапруга, викликана, наприклад, розрядом блискавки або перехідним процесом при комутації. Захистом електричних мереж від впливу перенапруги є улаштування ефективної системи заземлення, вирівнювання потенціалів та улаштування ПЗІП (SPD).

Імпульсна перенапруга – це короткочасне (не більше кількох тисячних секунди) збільшення напруги понад припустиме значення. Особливістю є дуже швидке збільшення напруги (8-10 мікросекунд).

Грозовий імпульс може тривати близько 1 мс і досягати напруги в десятки чи сотні кіловольт, а сила струму, що пропускається, до 100 кА. Жоден пристрій, окрім ПЗІП, не може відреагувати на такі короткі та потужні імпульси. Правильно побудовані системи внутрішнього захисту утворюють багаторівневий бар'єр, який надійно захищає від імпульсів перенапруги, гарантуючи контрольоване вирівнювання потенціалів та запобігаючи ризики удару високою напругою і електричного пробоя.

Згідно ДСТУ EN 62305-1 **пристрій захисту від імпульсних перенапруг (surge protective device) SPD** пристрій, призначений для обмеження перехідних перенапруг й відведення хвильових струмів; містить принаймні один нелінійний компонент.

Відмінності імпульсів:

Імпульс 10/350 (10 мікросекунд – час наростання імпульсу, 350 мікросекунд – час напівспаду). Виникає при прямих ударах блискавки. Дуже сильний імпульс. Може зашкодити не тільки обладнанню, але самій мережі. Для захисту від імпульсного струму з формою хвилі 10/350 мкс використовують ПЗІП класу 1 (В).

Імпульс 8/20 (8 мікросекунд – час наростання імпульсу, 20 мікросекунд – час напівспаду). Виникає при комутаційних перенапруженнях і при наводках від розряду блискавки. Особливість – напруга імпульсу може коливатися від декількох сотень вольт до декількох десятків тисяч. Для захисту від імпульсного струму з формою хвилі 8/20 мкс використовують ПЗІП класу 2 (С).

Чутливим елементом ПЗІП може бути або напівпровідниковий резистор (варистор), або іскровий розрядник, або їх комбінація. При виникненні імпульсної перенапруги варистор змінює свій опір і шунтує електричне коло, обмежуючи величину амплітуди перенапруги. В іскровому розряднику відбувається пробій між двома електродами, розташованими на

заданій відстані, яка визначає напругу пробою ПЗІП.

Використання ПЗІП є оптимальним рішенням для зрівнювання потенціалів та обмеження імпульсних перенапруг в мережах змінного (АС), постійного струму (DC) та телекомунікаційних мережах до безпечного рівня.

ПЗІП для електричних мереж зазвичай підключається до мережі паралельно або послідовно, його влаштування ніяк не впливає на роботу іншого обладнання. При різкому зростанні напруги ПЗІП спрацьовує і вирівнює напругу до безпечного рівня.

Класифікація ПЗІП за принципом дії.

За принципом дії ПЗІП діляться на комутуючі, обмежуючі і комбіновані. Усі пристрої мають високий повний опір за відсутності імпульсних перенапруг і швидко знижують його при наростанні імпульсу напруги, відводячи частину повного струму блискавки в землю.

ПЗІП комутуючого типу ефективно зрізають перенапругу, забезпечуючи гальванічну розв'язку. Прикладами таких пристроїв є іскрові розрядники, газорозрядні трубки. При дії напруги нижче рівня спрацьовування через такий ПЗІП не протікає струм витоку.

ПЗІП обмежуючого типу ефективно обмежують напругу. Прикладами компонентів, що використовуються в таких ПЗІП, є варистори і діоди. За відсутності перенапруг через такий ПЗІП протікає малий струм витоку.

ПЗІП комбінованого типу містить елементи як комутуючого типу, так і обмежуючого типу, які можуть комутувати та обмежувати напругу або можуть виконувати обидві функції залежно від напруги.

Класифікація ПЗІП за класами випробування.

ПЗІП розрізняють за класами та рівнями вимог залежно від місця їх розташування. В електричних мережах змінного струму напругою до 1000 В промислової частоти використовують ПЗІП трьох класів, які класифікуються за цілою низкою параметрів залежно від їх призначення, конструкції, класів випробувань.

ПЗІП 1-го класу (В) призначені для захисту електрообладнання від перенапруг, викликаних прямим ударом блискавки в систему блискавкозахисту будівлі. Вони встановлюються на вводах в будівлю (наприклад в ГРЩ) між зонами LPZ 0A / LPZ 0B та LPZ 1. Згідно ІЕС 61643-11 випробовуються імпульсним струмом формою хвилі 10/350 нс. ПЗІП класу I може витримувати тривале протікання великого по амплітуді імпульсу струму блискавки. Рівень захисту U_p до 4 кВ.

ПЗІП 2-го класу (С) призначені для захисту електричної розподільної мережі об'єкта від комутаційних перенапруг або як другий ступінь захисту під час удару блискавки. Вони мають знижувати перенапругу до рівня, безпечного для побутових приладів і електромережі. Встановлюються у розподільних щитах в зоні LPZ 1 або між зонами LPZ 1 та LPZ 2. Згідно ІЕС 61643-11 випробовуються імпульсним струмом формою хвилі 8/20 нс. Рівень захисту U_p до 2,5 кВ.

ПЗІП 3-го класу (D) призначені для захисту певного споживача від залишкових перенапруг після спрацьовування ПЗІП першого і другого класу,

які виникають, переважно, між проводами фази (L) і «нейтраллю» (N), а також від наведень у внутрішній інформаційно-розподільній мережі об'єкта. Встановлюються безпосередньо біля портів апаратури (зони LPZ 2 і вище). Згідно ІЕС 61643-11 випробуються комбінованим імпульсом напруги з формою хвилі 1,2.50 μ сек та струму з формою хвилі 8/20 нс. Рівень захисту U_p до 1,5 кВ.

За удару блискавки усі три класи ПЗІП мають спрацювати послідовно, знижуючи імпульс перенапруги до допустимого значення.

Основні електричні параметри ПЗІП:

- робоча (номінальна та максимальна) напруга – робоча (номінальна та максимальна) напруга мережі, в яку дозволяється встановлювати ПЗІП (стандартні значення 230/250, 400/440 В);
- номінальний та максимальний розрядний струм – як правило, вказується для визначеної довжини імпульсної перенапруги, наприклад, для довжини імпульсної перенапруги 8/20 мкс відношення величини номінального струму до максимального становить для ПЗІП класу 1 – 30 кА/60 кА, класу 2 – 20 кА/40 кА, класу 3 – 5 кА/ 10кА;
- захисний рівень напруги – для ПЗІП класу 1 – 2,0 кВ, класу 2 – 1,8 кВ, класу 3 – 1,0 кВ;
- час реакції – наприклад, 25 нс.

ПЗІП вмикається в електричну мережу таким чином, щоб була можливість вирівнювання потенціалів між провідниками. У випадку виходу з ладу ПЗІП між цими провідниками може статися КЗ і, як наслідок, виникнути пожежа. Таким чином, не можна встановлювати ПЗІП в електричні мережі за відсутності захисту від струмів КЗ.

За станом ПЗІП із варистором можливий візуальний контроль за наявністю «індикатора зносу». Якщо «індикатор зносу» затемнений більш ніж на 3/4, то такий ПЗІП необхідно замінити.

9.2. Обґрунтування необхідності влаштування ПЗІП (SPD)

9.2.1 Методика з вибору та проєктування ПЗІП (SPD)

Влаштування пристроїв захисту від імпульсних перенапруг (SPD, ПЗІП) для захисту електричного та електронного обладнання від перенапруг, зумовлених ударом блискавки наведена у розділі 7 та додатках С, D ДСТУ EN 62305-4:2012.

Нормативно потребу у влаштуванні ПЗІП для конкретного об'єкту визначає розрахунок ризиків згідно ДСТУ EN 62305-2:2012. За результатами розрахунку ризиків визначають за допомогою яких засобів ризики від дії блискавки знизяться до допустимого рівня.

Методика з вибору та проєктування ПЗІП (SPD):

Для проєктування системи захисту від імпульсних перенапруг для силових мереж змінного струму як складової внутрішньої LPS для конкретного об'єкту, потрібно здійснити збір інформації для розрахунку

ризиків та розрахунку LPS (див. лекцію 3) та по чергово пройти наступні кроки:

1. визначити місця, в яких є перехід електрокомунікацій між зонами LPZ 0 та LPZ 1;
2. передбачити в таких місцях влаштування ПЗІП класу I (або I+II) з рекомендованим I_{imp} залежно від наявності та рівня LPS, а також типу ввідних ліній;
3. обрати параметри ПЗІП класу I (або I+II) залежно від рівня LPS, кількості фаз на вводі та системи електроживлення об'єкту;
4. визначити наявність додаткових РЩ на об'єкті та відстань між ГРЩ і РЩ, при необхідності передбачити влаштування ПЗІП класу II для таких РЩ;
5. обрати параметри ПЗІП класу II залежно від рівня LPS, кількості фаз на вводі та системи електроживлення об'єкту;
6. визначити місце встановлення ПЗІП в РЩ та вибрати тип підключення SPD;
7. передбачити за необхідності заходи для захисту ПЗІП;
8. врахувати додаткові матеріали ПЗІП в РЩ.

9.2.2 Вибір та влаштування ПЗІП класу I для силових мереж.

Для проєктування ПЗІП класу I для силових мереж змінного струму потрібно:

1. Визначити місця, в яких є перехід електрокомунікацій між зонами LPZ 0 та LPZ 1;
2. Передбачити в таких місцях влаштування ПЗІП класу I з потрібним I_{imp} ;
3. Обрати параметри ПЗІП класу I (або I+II), що відповідатимуть системі електропостачання об'єкту.

Визначення місць встановлення ПЗІП класу I.

Для проєктування ПЗІП класу I спочатку потрібно визначити місця, в яких відбувається перехід силових провідників мереж змінного струму із зони LPZ 0B (або LPZ 0A), які є зовні будівлі, до зони LPZ 1, яка є всередині будівлі (рис. 9.1).

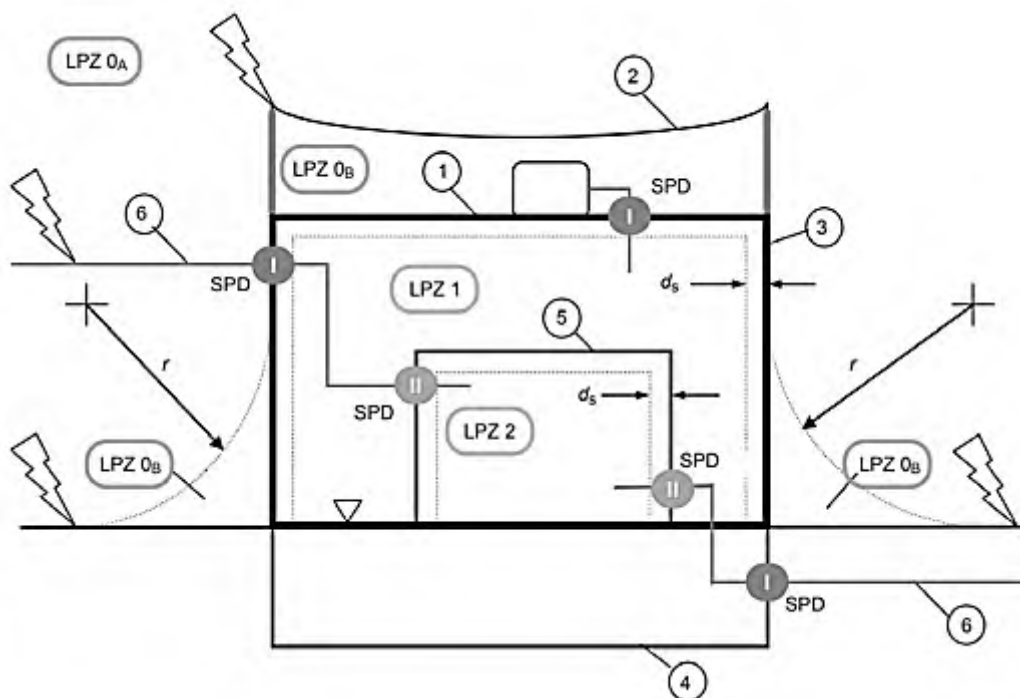


Рисунок 9.1 – Місця встановлення ПЗІП (SPD):

1 – будівля (споруда) (екран LPZ 1); 2 – система перехоплення; 3 – система доземних провідників; 4 – система земляного закінчення; 5 – приміщення (екран LPZ 2); 6 – лінії, приєднані до будівлі;

LPZ 0A – незахищений простір; LPZ 0B – простір, захищений LPS; LPZ 1 – простір всередині будівлі; LPZ 2 – захищувана установка;

I – ПЗІП класу I, встановлений на вводах між LPZ 0B та LPZ 1; II – ПЗІП класу II, встановлений на вводах між LPZ 1 та LPZ 2.

Це можуть бути:

- головний розподільний щит (ГРЩ), до якого входить ввідна лінія електропостачання;
- додатковий розподільний щит (РЩ) в сусідній побутовій будівлі, до якого живлення іде від ГРЩ основної будівлі;
- розподільний щит для підключення обладнання (вентустановки, фотогальванічні чи антикригові системи), яке знаходиться зовні будівлі (наприклад, на покрівлі в зоні LPZ 0B).

В кожному такому місці, де відбувається перехід провідника живлення між зонами LPZ 0 та LPZ 1 потрібно влаштувати ПЗІП класу I (B) або ПЗІП класу I+II (B+C).

Більшість виробників пропонують універсальні ПЗІП класу I+II, які забезпечують захист від імпульсного струму з формою хвилі як 10/350 нс так і 8/20 нс.

Вибір параметрів ПЗІП відповідно до параметрів LPS будівлі.

Визначивши, де потрібно встановлювати ПЗІП на переходах між LPZ 0 та LPZ 1, потрібно обрати клас ПЗІП (I+II або II) та для SPD класу I визначити значення I_{imp} (амплітуди імпульсного струму 10/350 нс, який SPD

може пропустити). На вибір цих параметрів впливає наявність LPS на будівлі та її рівень блискавкозахисту, наявність LPS на сусідній будівлі та тип вводу.

Якщо на будівлі LPS наявна, в ГРЩ потрібно влаштувати ПЗІП класу I+II із рекомендованим значенням I_{imp} , що складає 50 % від значення пікового струму блискавки згідно табл. 3.1 (табл. 3 ДСТУ EN 62305-1) для обраного LPL об'єкту, що ділиться на кількість проводів (n) у мережі:

- для LPL-III або LPL-IV значення пікового струму складає 100 кА, потрібний ПЗІП класу I+II з $I_{imp} \geq 50/n$ кА, де n – кількість проводів у мережі (наприклад, якщо у мережі 4 проводи, потрібно встановити SPD з $I_{imp} \geq 50/4 \geq 12,5$ кА);
- для LPL-II значення пікового струму складає 150 кА, потрібний ПЗІП класу I+II з $I_{imp} \geq 75/n$ кА, де n – кількість проводів у мережі (наприклад, якщо у мережі 4 проводи, потрібно встановити SPD з $I_{imp} \geq 18,75$ кА);
- для LPL-I значення пікового струму складає 200 кА, потрібний ПЗІП класу I+II з $I_{imp} \geq 100/n$ кА, де n – кількість проводів у мережі (наприклад, якщо у мережі 4 проводи, потрібно встановити SPD з $I_{imp} \geq 25$ кА);
- в РЩ, що використовуються для подачі електроживлення обладнання чи установок, що знаходяться на покрівлі в зоні LPZ 0B, достатньо встановити ПЗІП класу I+II із мінімальним значенням $I_{imp} = 12,5$ кА.

Якщо на будівлі LPS відсутня, проте є повітряний ввід або сусідня будівля із наявною LPS, в ГРЩ потрібно влаштувати ПЗІП класу I+II із мінімальним значенням $I_{imp} = 12,5$ кА.

Якщо на будівлі LPS відсутня та немає повітряного вводу та сусідньої будівлі із наявною LPS, для захисту від імпульсних перенапруг в ГРЩ замість SPD класу I достатньо влаштувати ПЗІП класу II.

9.2.3. Вибір параметрів ПЗІП класу I+II для системи електропостачання об'єкту.

Визначивши, де потрібно встановлювати ПЗІП класу I+II та з яким рекомендованим значенням I_{imp} повинен бути SPD, потрібно обрати відповідний ПЗІП для мережі електропостачання об'єкту.

Існують 2 режими підключення ПЗІП в мережу: «x+0» і «x+1», де x – кількість комбінованих модулів (варистор + газорозрядник), 1/0 – наявність / відсутність окремого іскророзрядника. Режим підключення «x+0» використовується для мереж TN-C, TN-S і TN-C-S. Режим підключення «x+1» призначений для мережі TT.

Система TN-C (TN-C-S) (рис. 9.2).

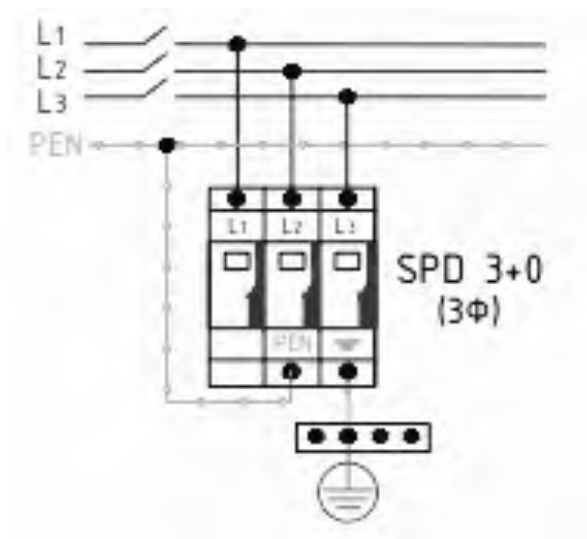


Рисунок 9.2 – Підключення ПЗП класу I у системі TN-C (TN-C-S).

При 3-фазній 4-провідній схемі TN-C ($L_1 + L_2 + L_3 + PEN$) ПЗП класу I+II встановлюється на ввіді в будівлю (на DIN-рейку в ГРЩ або РЩ одразу після автоматичного вимикача) з використанням способу підключення «х+0».

Для 3-фазної мережі TN-C-S, де PEN провідник розділяється на окремі N та PE провідники вже після ПЗП, потрібно встановлювати SPD з підключенням «3+0» аналогічно до схеми TN-C.

Система TN-S (TN-C-S) (рис. 9.3).

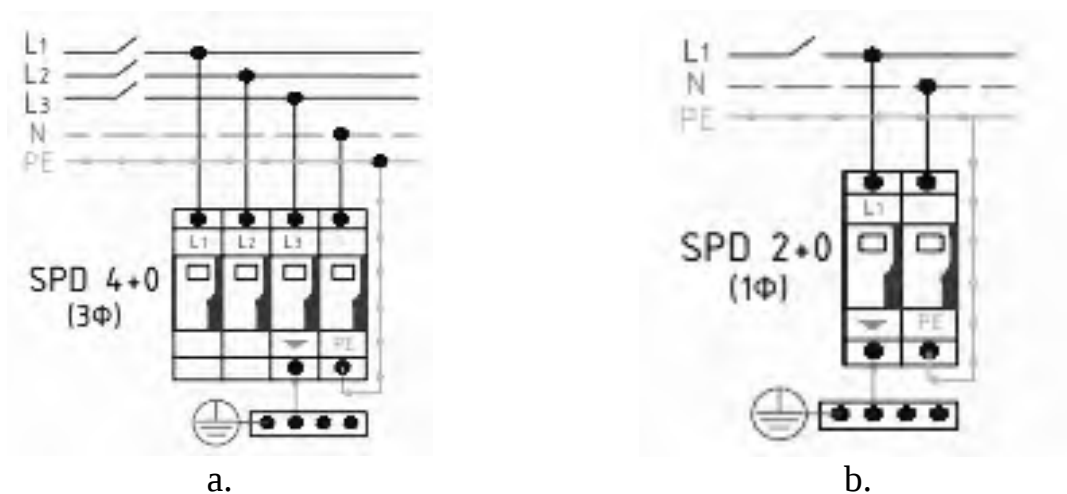


Рисунок 9.3 – Підключення ПЗП класу I у системі TN-S (TN-C-S): а – для 3-фазної мережі; б – для 1-фазної мережі.

При 3-фазній 5-провідній ($L_1 + L_2 + L_3 + N + PE$) або 1-фазній 3-провідній ($L_1 + N + PE$) схемі TN-S ПЗП класу I+II встановлюється на ввіді в будівлю (на DIN-рейку в ГРЩ одразу після автоматичного вимикача) з використанням способу підключення «х+0».

Для 3-фазної мережі TN-C-S, де SPD встановлюється вже після розділення PEN провідника на окремі N та PE провідники (наприклад, РЩ від якого подається живлення для обладнання на покрівлі), потрібно встановлювати SPD з підключенням 4+0 (2+0) аналогічно до схеми TN-S.

Система ТТ (рис. 9.4).

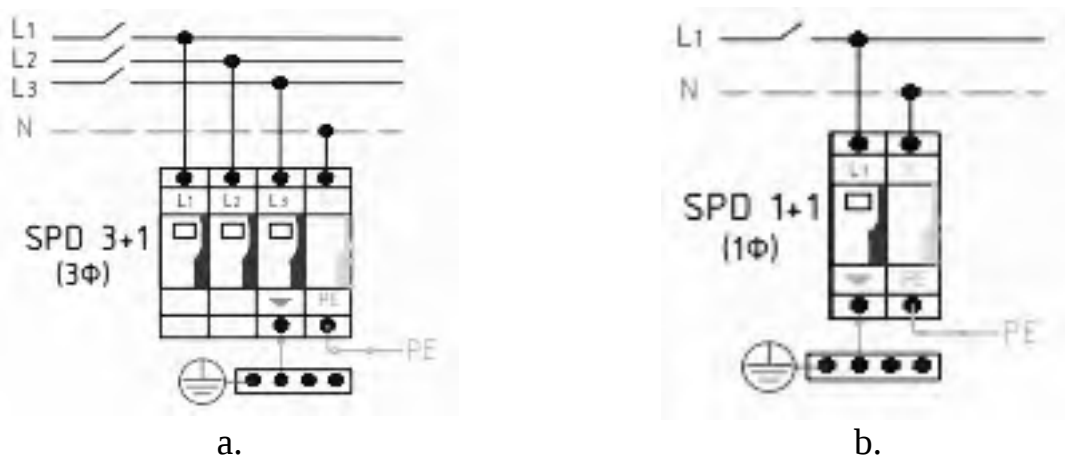


Рисунок 9.4 – Підключення ПЗІП класу I у системі ТТ: а – для 3-фазної 4-провідної мережі; б – для 1-фазної 2-провідної мережі.

При 3-фазній 4-провідній ($L_1 + L_2 + L_3 + N$) або 1-фазній 2-провідній ($L_1 + N$) схемі ТТ ПЗІП класу I+II встановлюється на вводі в будівлю (на DIN-рейку в ГРЩ одразу після автоматичного вимикача) з використанням способу підключення «x+1».

9.2.4. Вибір та влаштування ПЗІП класу II для силових мереж.

Для проєктування ПЗІП класу II для силових мереж змінного струму потрібно:

1. Визначити необхідність встановлення SPD класу II у додаткових РЩ в будівлі;
2. Обрати параметри ПЗІП класу II, що відповідатимуть системі електропостачання об'єкту.

Визначення місць встановлення ПЗІП класу II.

Для проєктування ПЗІП класу II спочатку визначається, в яких додаткових розподільних щитах (РЩ) потрібно встановлювати SPD. ПЗІП класу II встановлюють в таких місцях в будівлі:

- в розподільних щитах* в будівлі в межах зони LPZ 1, які розміщені на відстані більше 10 м (але < 50 м**) від ГРЩ, в якому вже передбачено SPD класу I+II;
- в розподільних щитах* в будівлі в межах зони LPZ 1, які розміщені на відстані більше 10 м від попереднього РЩ, в якому вже передбачено SPD класу II;
- в розподільних щитах* в будівлі в зоні LPZ 2 чи наступних зонах.

*розподільні щити потрібно розглядати як електричні, так і додаткових інженерних систем (наприклад, СПС чи АСПГ).

**якщо відстань від ГРЩ до РЩ більше 50 м (наприклад, віддалене крило в будівлі школи чи готелю), в даному РЩ рекомендовано влаштувати ПЗІП класу I+II замість SPD класу II.

Вибір параметрів ПЗІП класу II для системи електропостачання об'єкту.

Визначивши, де потрібно встановлювати ПЗІП класу II, потрібно обрати відповідний ПЗІП для мережі електропостачання об'єкту, аналогічно як і при виборі параметрів SPD класу I.

В будівлі з 3-фазною системою живлення РЩ можуть бути як 3-фазні, так і 1-фазні, тому обов'язково потрібно визначити кількість фаз у кожному РЩ, в якому необхідне влаштування ПЗІП класу II.

Система TN-C (рис. 9.5).

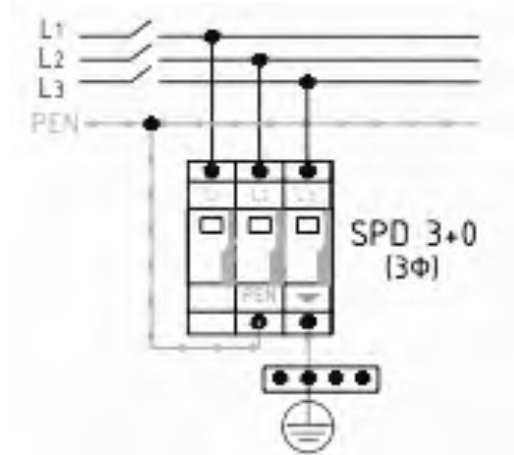
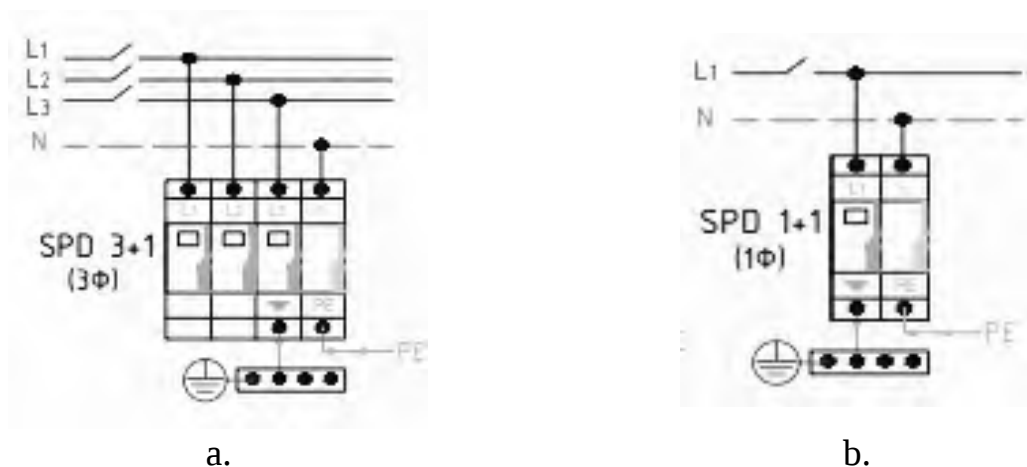


Рисунок 9.5 – Підключення ПЗІП класу II у системі TN-C

При 3-фазній 4-провідній схемі TN-C ($L_1 + L_2 + L_3 + PEN$) ПЗІП класу II встановлюється в потрібному РЩ (на DIN-рейку одразу після автоматичного вимикача) з використанням способу підключення «х+0». Для такого підключення можна використати SPD з 3-ма комбінованими модулями.

Система TT (рис. 9.6).

При 3-фазній 4-провідній ($L_1 + L_2 + L_3 + N$) або 1-фазній 2-провідній ($L_1 + N$) схемі TT ПЗІП класу II встановлюється в РЩ (на DIN-рейку одразу після автоматичного вимикача) з використанням способу підключення «х+1».



а.

б.

Рисунок 9.6 – Підключення ПЗІП класу II у системі TT: а – для 3-фазної 4-провідної мережі; б – для 1-фазної 2-провідної мережі

Система TN-S (TN-C-S) (рис. 9.7 та 9.8).

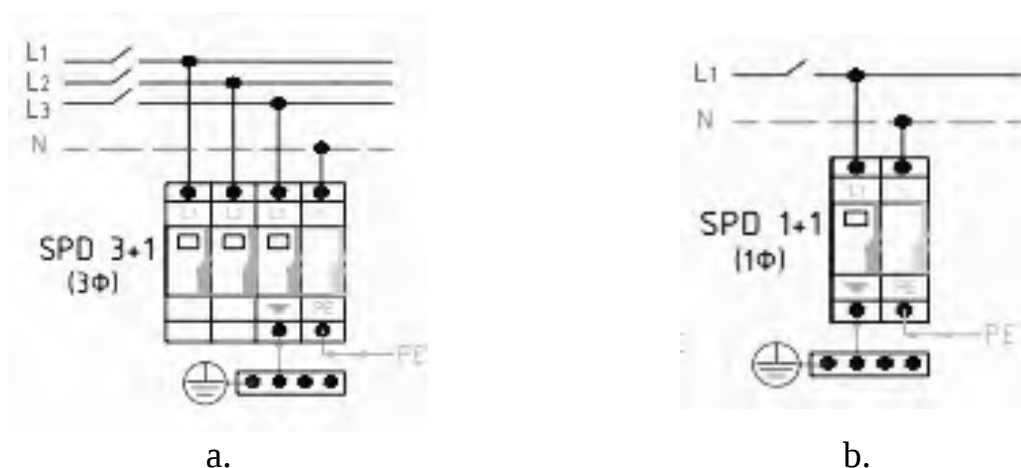


Рисунок 9.7 – Підключення ПЗІП класу II у системі TN-S (TN-C-S) у спосіб «х+0»: а – для 3-фазної 4-провідної мережі; б – для 1-фазної 2-провідної мережі.

При 3-фазній 5-провідній ($L_1 + L_2 + L_3 + N + PE$) або 1-фазній 3-провідній ($L_1 + N + PE$) схемі TN-S або TN-C-S (де після ГРЩ відбувається розділення PEN провідника на окремі N та PE провідники) ПЗІП класу II встановлюється в РЩ (на DIN-рейку одразу після автоматичного вимикача) з використанням способів підключення «х+0» або «х+1».

Спосіб підключення «х+0» (рис. 9.7) більше підходить для житлових та адміністративних будівель та його використовують, щоб усунути поздовжній електромагнітний імпульс удару блискавки.

Спосіб підключення «х+1» (рис. 9.8) більше підходить для виробничих будівель, де часто відбувається виникнення перенапруг в момент включення установок, та його використовують, щоб обмежити перенапругу в середині установки.

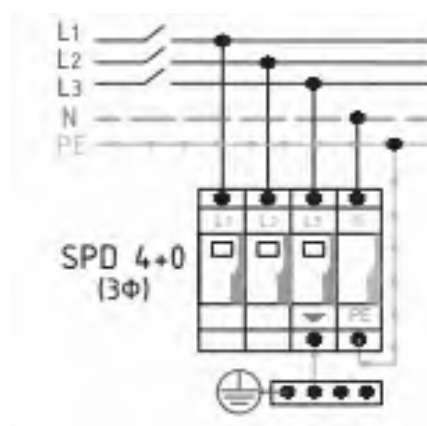


Рисунок 9.8 – Підключення ПЗІП класу II у системі TN-S (TN-C-S) у спосіб «х+1»

Для такого підключення можна використати: для 3-фазної мережі: SPD з 3-ма комбінованими модулями та іскровим розрядником, наприклад SLP 275 V/3+1.

9.2.4. Підключення та захист ПЗІП для силових мереж.

Після вибору ПЗІП класів I+II та II для силових мереж змінного струму потрібно запроєктувати додаткові матеріали для влаштування SPD. Для цього потрібно:

1. Визначити місце встановлення ПЗІП в РЩ та обрати тип підключення SPD;
2. Визначити необхідність влаштування захисту для ПЗІП;
3. Обрати додаткові матеріали для влаштування та підключення SPD.

Визначення місця встановлення ПЗІП в РЩ та вибір типу підключення.

В розподільному щиті (ГРЩ чи РЩ) ПЗІП потрібно встановлювати одразу після автоматичного вимикача на DIN-рейку.

ПЗІП потрібно підключити до автоматичного вимикача фазними провідниками.

Існує 2 типи підключення ПЗІП: паралельне (Т-з'єднання) та послідовне (V-з'єднання) (рис. 9.9).

Найкращим варіантом є послідовне підключення, оскільки компенсується індуктивний ефект, який впливає на загальний опір струму імпульсу. Проте для більшості SPD (в яких наявна 1 клема для підключення фазного провідника) простіше виконати паралельне підключення. Для виконання послідовного підключення таких ПЗІП потрібно додатково використати кабельні розгалужувачі.

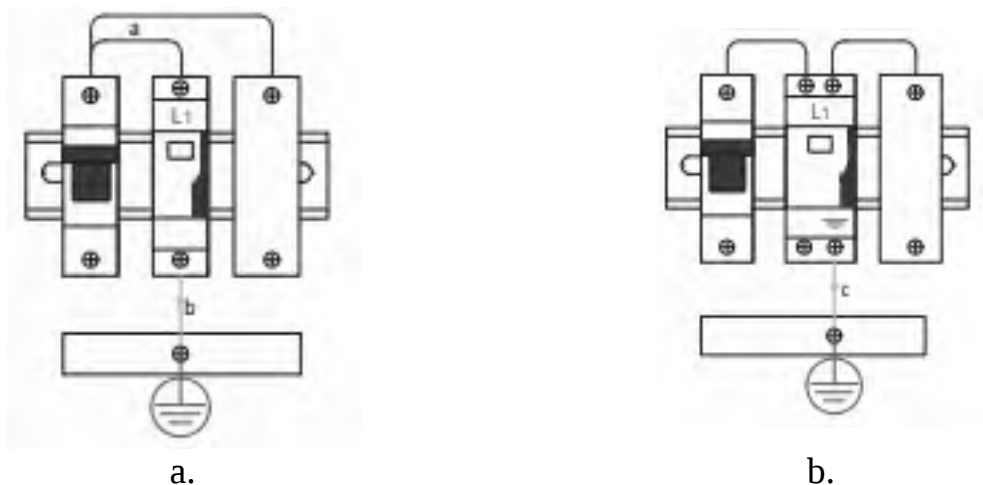


Рисунок 9.9 – Типи підключення ПЗІП: а – паралельне; б – послідовне

При підключенні ПЗІП обов'язково потрібно враховувати обмеження по довжині проводу підключення:

- при паралельному підключенні сумарна довжина проводу, що з'єднує SPD з автоматом, та проводу, що з'єднує SPD з шиною заземлення не повинна перевищувати 0,5 м ($a+b \leq 0,5$ м);
- при послідовному підключенні довжина проводу, що з'єднує SPD з шиною заземлення не повинна перевищувати 0,5 м ($c \leq 0,5$ м).

Зважаючи на особливості розміщення обладнання в РЩ, SPD може бути розміщено одразу біля вимикача на одній DIN-рейці, під автоматичним вимикачем або над ним. При цьому при монтажі потрібно обов'язково забезпечити короткі відстані проводу між автоматичним вимикачем та ПЗІП а також між ПЗІП та заземлюючою шиною ($a+b \leq 0,5$ м для паралельного підключення та $c \leq 0,5$ м для послідовного підключення).

Для уникнення утворення петель та зменшення довжини проводів ПЗІП можна розвернути на 180 град.

У випадку, якщо розподільний щит існуючий та у ньому немає місця для встановлення ПЗІП, можна встановити перед існуючим щитом додатковий невеликий щит, в якому влаштувати ПЗІП та додаткову заземлюючу шину. При цьому можна влаштувати паралельне підключення ПЗІП до автоматичного вимикача короткими проводами. Влаштування додаткової заземлюючої шини, яка приєднується до головної ЗШ, потрібне для забезпечення сумарної відстані проводів (між вимикачем, ПЗІП та шиною) менше 0,5 м ($a+b \leq 0,5$ м).

9.2.5. Визначення необхідності влаштування захисту ПЗІП.

Для захисту ПЗІП від струмів короткого замикання використовують запобіжники. В кожному SPD забезпечений додатковий захист від вже встановлених у ПЗІП запобіжних пристроїв певного номіналу.

Для мереж малої потужності, де ввідні автоматичні вимикачі вибираються на невеликі номінальні струми для захисту від струмів короткого замикання і без урахування впливу імпульсних струмів, встановлення ПЗІП класу I+II після ввідного вимикача проводиться без додаткового захисту.

Щоб визначити доцільність встановлення додаткового запобіжника в ланцюг ПЗІП слід зіставити номінальний струм ввідного автоматичного вимикача I_{QF} з номінальним струмом запобіжника I_{FU} , що встановлено в ПЗІП:

- якщо $I_{QF} > I_{FU}$, то доцільно встановити додатковий запобіжник перед ПЗІП;
- якщо $I_{QF} < I_{FU}$, то запобіжник не встановлюється.

9.2.6. Специфікація додаткових матеріалів для встановлення ПЗІП.

Для встановлення ПЗІП в розподільному щиті, окрім самого ПЗІП необхідно передбачити потрібні додаткові матеріали для його монтажу. Це можуть бути:

- провід для влаштування перемичок для з'єднання ПЗІП та автоматичного вимикача (перерізом не менше від січення фазних проводів на вводі);
- провід заземлення мідний для приєднання ПЗІП до заземлювальної шини: для SPD класу I+II з перерізом не менше 16 мм^2 (наприклад, ПВ-1х16) та для SPD класу II з перерізом не менше 6 мм^2 ;

- запобіжники, при необхідності їх влаштування для захисту ПЗІП (типу gL/gG для FLP 12,5 та SLP-275 з $F = 160$ А; для FLP B+C MAXI з $F = 125$ А (при послідовному підключенні) або $F = 250$ А (при паралельному підключенні);
- кабельні розгалужувачі, за необхідності влаштування таких для забезпечення послідовного з'єднання у SPD з одинарними фазними клемми;
- додатковий розподільний щит з DIN-рейками, шиною заземлення та кріпильними матеріалами, при необхідності влаштування ПЗІП в окремому щиті.

Література:

1. Тищенко Є.О., Кальченко Я.Ю. Конспект лекцій. Аудит блискавкозахисту будівель і споруд. – Черкаси : НУЦЗУ, 2025. – 118 с.
2. Захист від блискавки. Частина 1. Загальні принципи (EN 623051:2011, IDT): ДСТУ EN 62305-1:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
3. Захист від блискавки. Частина 2. Керування ризиками (EN 623052:2010, IDT): ДСТУ EN 62305-2:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
4. Захист від блискавки. Частина 3. Фізичні руйнування споруд та небезпека для життя людей (EN 62305-3:2011, IDT): ДСТУ EN 62305-3:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
5. Захист від блискавки. Частина 4. Електричні та електронні системи, розташовані в будинках і спорудах (EN 62305-4:2010, IDT): ДСТУ EN 62305-4:2012. - [Чинний від 2012-08-01]. -- (Національний стандарт України).
6. Денис О., Степура Ю., Жарков В. Методичні рекомендації з розрахунку та проектування систем блискавкозахисту. Професійний блискавкозахист. – Львів: ТзОВ «ФС блискавкозахист», 2023. – 118с
7. Монтаж пристроїв блискавкозахисту будівель та споруд: навчальний посібник / Ю. П. Войтюк, Д. Г. Писаренко. – Вінниця: ВНТУ, 2021. – 94 с.
8. Методичні рекомендації з розрахунку та проектування систем блискавкозахисту (V.5.1): <https://fs-lps.com/metodychka-lps-v5/>.

Питання для самооцінювання.

1. Дайте визначення поняття «Імпульсна перенапруга».
2. Дайте визначення поняття «пристрій захисту від імпульсних перенапруг (surge protective device) SPD».
3. Класифікація ПЗІП за принципом дії.
4. Класифікація ПЗІП за класами випробування.
5. Які основні електричні параметри ПЗІП?
6. Методика з вибору та проектування ПЗІП (SPD).
7. Вибір та влаштування ПЗІП класу I для силових мереж.
8. Вибір параметрів ПЗІП відповідно до параметрів LPS будівлі.

9. Вибір параметрів ПЗІП класу I+II для системи електропостачання об'єкту.
10. Вибір та влаштування ПЗІП класу II для силових мереж
11. Визначення необхідності влаштування захисту ПЗІП.