

Подільський державний університет
Навчально-науковий інститут заочної і дистанційної освіти
Факультет енергетики та інформаційних технологій
Кафедра електротехніки, електромеханіки і електротехнологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

Аналіз ефективності використання блискавкоприймачів різного типу у
системах блискавкозахисту

Виконав:

здобувач вищої освіти заочної форми
навчання освітнього ступеня «Магістр»,
освітньо-професійної програми
«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка» спеціальності 141
«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

_____ Кушнір Едуард

Керівник: канд. техн. наук, професор

_____ Людмила МИХАЙЛОВА

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____ Шкала ECTS _____

Допускається до захисту:

« ____ » _____ 2025р.

Керівник проектної групи
(гарант освітньої програми)

«Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

кандидат технічних наук, доцент _____ Павло ПОТАПСЬКИЙ

м. Кам'янець-Подільський, 2025р.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП | 7 |
| РОЗДІЛ 1. Особливості функціонування та впровадження систем блискавкозахист | 10 |
| 1.1. Аналіз законодавчих та технічних вимог щодо блискавкозахисту | 10 |
| 1.2 Аналіз існуючих систем та засобів блискавкозахисту будівель і споруд | 25 |
| 1.3 Специфіка будови та вимоги до розміщення класичних систем блискавкоприйому та активних приймачів ESEAT..... | 29 |
| 1.4 Дослідження особливостей доземних провідників у класичному блискавкозахисті та в активних приймачах ESEAT..... | 32 |
| 1.4.1. Порівняльний аналіз доземних провідників у активній системі блискавкозахисту ESEAT | 34 |
| 1.4.2. Конструктивні особливості зовнішнього оформлення доземних провідників у системі ESEAT | 35 |
| 1.5. Проектування заземлювальних пристроїв у класичних та активних системах ESEAT | 36 |
| 1.5.1. Уземлюючі пристрої типу А..... | 38 |
| 1.5.2. Уземлюючі пристрої типу В | 39 |
| Висновок до розділу | 40 |
| РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ СИСТЕМ БЛИСКАВКОЗАХИСТУ | 41 |
| 2.1. Аналіз визначення зон захисту, сформованих традиційними блискавкоприймачами | 41 |
| 2.2. Аналіз методики визначення зон захисту, сформованих системою ESEAT..... | 46 |
| 2.3. Розрахунок системи доземних провідників при улаштуванні | |

| | |
|---|----|
| класичної системи блискавкозахисту та ESEATS | 47 |
| 2.4 Визначення параметрів заземлення | 48 |
| 2.5 Методи оцінки ефективності впровадження систем блискавкозахисту. | 49 |
| Висновки до розділу | 54 |
| РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ БЛИСКАВКОПРИЙМАЧІВ..... | 55 |
| 3.1. Розрахунок зони блискавкозахисту із класичним блискавкоприймачем | 55 |
| 3.2. Проектування заземлення блискавкозахисту..... | 59 |
| 3.3 Основні показники інвестиційного проекту за класичною системою блискавкозахисту | 63 |
| 3.3.1 Оцінка ефективності проекту за показниками, заснованими на коефіцієнті дисконтування..... | 64 |
| 3.3.2. Розрахунок періоду окупності – РВР..... | 65 |
| 3.4. Основні показники інвестиційного проекту системи з ESEAT-блискавкоприймачами | 66 |
| 3.4.1. Оцінка ефективності проекту за показниками на коефіцієнті дисконтування. | 66 |
| 3.4.2. Розрахунок періоду окупності – РВР..... | 67 |
| Висновки до розділу | 69 |
| ВИСНОВКИ..... | 70 |
| ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 71 |
| ДОДАТКИ..... | 75 |

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра складається з пояснювальної записки, виконаної машинописним способом на 71 аркушах формату А4, вміщує 3 розділи, 21 таблиця 23 рисунки, 28 літературних джерела, та презентаційного матеріалу на 12 аркушах.

Магістерська робота присвячена комплексному дослідженню ефективності використання блискавкоприймачів різних типів у системах блискавкозахисту та обґрунтуванню їх оптимального вибору для конкретних умов експлуатації. Актуальність теми визначається необхідністю забезпечення високого рівня безпеки будівель і споруд, оскільки удар блискавки може спричинити значні технічні, економічні та експлуатаційні втрати.

У роботі проаналізовано основні типи блискавкоприймачів, їх конструктивні особливості, технічні параметри та сфери застосування. Значну увагу приділено чинним нормативним документам і стандартам, які регламентують проектування та монтаж систем блискавкозахисту в Україні та на міжнародному рівні. Проведено розрахунок зон захисту для різних типів блискавкоприймачів, що дозволило визначити їх ефективність у типових і складних інженерних умовах.

Проведене дослідження поглиблює науково-технічні підходи до створення сучасних систем захисту від блискавки, що визначає його цінність для інженерної практики та актуальність для сучасних умов експлуатації об'єктів різного призначення.

Ключові слова: БЛИСКАВКОЗАХИСТ; БЛИСКАВКОПРИЙМАЧ; СТРИЖНЕВИЙ БЛИСКАВКОПРИЙМАЧ; ТРОСОВИЙ БЛИСКАВКОПРИЙМАЧ; БЛИСКАВКОПРИЙМАЛЬНА СІТКА; ESE-СИСТЕМА; ЗАХИСНА ЗОНА; ГРОЗОВИЙ РОЗРЯД; РІВЕНЬ ЗАХИСТУ; ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАХИСТУ; СИСТЕМА ЗАЗЕМЛЕННЯ; ІНЖЕНЕРНИЙ ЗАХИСТ БУДІВЕЛЬ.

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота присвячена комплексному дослідженню ефективності використання блискавкоприймачів різних типів у системах блискавкозахисту та обґрунтуванню їх оптимального вибору для конкретних умов експлуатації. Актуальність теми визначається необхідністю забезпечення високого рівня безпеки будівель і споруд, оскільки удар блискавки може спричинити значні технічні, економічні та експлуатаційні втрати.

Проведене дослідження поглиблює науково-технічні підходи до створення сучасних систем захисту від блискавки, що визначає його цінність для інженерної практики та актуальність для сучасних умов експлуатації об'єктів різного призначення.

ABSTRACT

The master's thesis is devoted to a comprehensive study of the effectiveness of using lightning rods of various types in lightning protection systems and substantiating their optimal choice for specific operating conditions. The relevance of the topic is determined by the need to ensure a high level of safety of buildings and structures, since a lightning strike can cause significant technical, economic and operational losses.

The research deepens scientific and technical approaches to the creation of modern lightning protection systems, which determines its value for engineering practice and relevance for modern operating conditions of facilities for various purposes.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ESEAT - early streamer emission air termination/ блискавкоприймач із системою раннього випуску стримера

ESE - early streamer emission/ система блискавкозахисту із раннім випуском стримера

LPS - lightning protection system/ система блискавкозахисту

КСБЗ - класична система блискавкозахисту

БЗ - блискавкозахист

ПУБ - прямий удар блискавки

LPL -lightning protection level/ рівень блискавкозахисту

ПЗІП - пристрій захисту від імпульсних перенапруг

НД - нормативний документ

ДП - доземний провідник

ВСТУП

Забезпечення безпеки будівель, споруд та інженерних об'єктів від дії атмосферних електричних розрядів є важливим завданням сучасного будівництва та промислового будівництва. Блискавка здатна завдавати значних матеріальних збитків, пошкоджувати електрообладнання, порушувати роботу енергетичних мереж та створювати загрозу життю людей. Саме тому розробка ефективних систем блискавкозахисту є однією з ключових складових комплексного забезпечення безпеки об'єктів різного призначення.

Системи блискавкозахисту включають три основні елементи: блискавкоприймачі, провідники, які відводять розряд, та заземлювальні пристрої. Одним із найважливіших компонентів системи є блискавкоприймач, від ефективності якого значною мірою залежить надійність захисту. В сучасній практиці застосовуються різні типи блискавкоприймачів, серед яких класичні гострокінцеві металеві стержні та новітні активні системи, зокрема блискавкоприймачі типу ESE (Early Streamer Emission). Кожен тип пристроїв має свої переваги, обмеження та специфічні умови ефективного використання, що потребує ретельного аналізу перед проектуванням систем блискавкозахисту.

Класичні блискавкоприймачі є найбільш поширеними завдяки простоті конструкції, надійності та тривалому досвіду експлуатації. Вони працюють за принципом прийому атмосферного розряду у точці з найбільшим електричним потенціалом, що дозволяє забезпечити формування зони захисту навколо споруди. Однак їх ефективність залежить від висоти стержня, форми наконечника, матеріалу та умов монтажу, що потребує точного розрахунку для кожного конкретного об'єкта.

Активні блискавкоприймачі ESE є більш сучасним рішенням, що дозволяє збільшити зону захисту споруди за рахунок передчасного випуску іонізованого потоку, який ініціює розряд раніше, ніж у випадку з класичним стержнем. Це забезпечує більшу площу покриття та підвищує ефективність захисту об'єктів великої висоти або складної конфігурації. Проте використання активних блискавкоприймачів потребує дотримання спеціальних норм монтажу та

контролю технічного стану, що впливає на вартість і складність експлуатації системи.

Актуальність дослідження визначається зростанням вимог до безпеки об'єктів житлової, промислової та соціальної інфраструктури, підвищенням частоти проявів атмосферної електричної активності внаслідок змін клімату, а також потребою в оптимізації витрат на проектування та експлуатацію систем блискавкозахисту. Незважаючи на наявність стандартів і нормативних документів щодо проектування систем блискавкозахисту, питання вибору оптимального типу блискавкоприймача для конкретного об'єкта та визначення його параметрів залишається актуальним і потребує науково обґрунтованого підходу.

Метою даної магістерської роботи є проведення комплексного аналізу ефективності використання блискавкоприймачів різного типу у системах блискавкозахисту, визначення їх технічних та експлуатаційних характеристик, а також порівняння класичних і активних систем. Для досягнення цієї мети поставлено такі завдання:

1. Огляд існуючих типів блискавкоприймачів та їх характеристик.
2. Аналіз нормативних документів і стандартів, що регламентують проектування систем блискавкозахисту.
3. Розрахунок зон захисту споруд при використанні різних типів блискавкоприймачів.
4. Порівняння ефективності класичних та активних систем на основі технічних параметрів і економічної доцільності.
5. Розробка рекомендацій щодо оптимального вибору блискавкоприймача для конкретних умов експлуатації.

Результати дослідження дозволять підвищити надійність систем блискавкозахисту, забезпечити безпечну експлуатацію об'єктів та оптимізувати витрати на їх проектування і обслуговування, що дозволяє отримати практично значущі рекомендації для проектування захисних систем.

Отже, виконання даного дослідження сприятиме розвитку методології

проектування систем блискавкозахисту та підвищенню безпеки об'єктів різного призначення, що робить тему магістерської роботи актуальною і важливою для сучасної інженерної практики.

Публікації: Едуард КУШНІР. АНАЛІЗ РОЗРАХУНКУ ЗОН ЗАХИСТУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДПОВІДНИХ РІВНІВ НАДІЙНОСТІ БЛИСКАВКОЗАХИСТУ / Едуард КУШНІР, Людмила МИХАЙЛОВА // Ефективне використання енергії: стан і перспективи. Збірник наукових праць V Всеукраїнської студентської науково-практичної конференції. 12 листопада 2025 р. (ЗВО «ПДУ», м. Кам'янець-Подільський). – Кам'янець-Подільський, 2025. – С. 62-64.

РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ БЛИСКАВКОЗАХИСТ

1.1. Аналіз законодавчих та технічних вимог щодо блискавкозахисту

Блискавкозахист (БЗ) є невід'ємною частиною інженерної безпеки будь-якої будівлі чи споруди. Він спрямований на запобігання пожежам, руйнуванням конструкцій, виходу з ладу електричного обладнання та, найголовніше, на захист життя людей від прямого впливу блискавки. Ефективне проектування та улаштування БЗ вимагає суворого дотримання як законодавчих, так і технічних вимог, які в Україні ґрунтуються переважно на міжнародних стандартах.

1. Законодавчі вимоги та стандартизація

Законодавче поле у сфері блискавкозахисту в Україні регулюється низкою документів, які забезпечують гармонізацію з європейськими нормами.

1.1. Основні нормативні документи

Головним нормативним комплексом, що визначає підхід до блискавкозахисту в Україні, є ДСТУ EN 62305 (серія стандартів, що імплементує європейський стандарт ІЕС/EN 62305):

ДСТУ EN 62305-1:2012 (Загальні принципи). Визначає загальні положення, необхідність захисту, класифікацію зон ризику та принципи побудови системи БЗ.

ДСТУ EN 62305-2:2012 (Керування ризиком). Цей стандарт є законодавчою основою для ухвалення рішення про необхідність БЗ. Він вимагає обов'язкової оцінки ризиків ураження блискавкою (пожежа, травми, вихід з ладу обладнання). Якщо розрахунковий ризик перевищує допустимий рівень, улаштування БЗ є обов'язковим.

ДСТУ EN 62305-3:2012 (Фізичні пошкодження конструкцій і небезпека для життя). Регламентує технічні вимоги до зовнішньої системи БЗ (блискавкоприймачі, струмовідводи, заземлення).

ДСТУ EN 62305-4:2012 (Електричні та електронні системи). Регламентує

вимоги до внутрішнього БЗ та захисту від імпульсних перенапруг (використання обмежувачів перенапруги – SPD).

Міжнародний стандарт ІЕС 62305-1:2010 є першою частиною серії стандартів ІЕС 62305 "Захист від блискавки" (Lightning Protection).

Ця частина є загальним вступом та фундаментом для всієї серії, визначаючи базові принципи, термінологію та філософію підходу до блискавкозахисту.

1. Предмет і сфера застосування

Стандарт встановлює загальні принципи захисту конструкцій (будівель, споруд) і людей у них, а також електричних і електронних систем усередині конструкцій від потенційної небезпеки, спричиненої блискавкою.

2. Природа блискавки та її параметри

ІЕС 62305-1 детально описує природу блискавки та її характеристики. Це ключова інформація, яка використовується для розрахунку ризиків і проектування систем захисту.

Визначає параметри струму блискавки (амплітуда, крутизна, заряд, питома енергія).

Ці параметри лягають в основу класифікації Рівнів блискавкозахисту (LPL).

3. Рівні блискавкозахисту (LPL)

Стандарт запроваджує поняття Рівня блискавкозахисту (Lightning Protection Level, LPL). Існує чотири рівні: LPL I, LPL II, LPL III, LPL IV.

Кожен LPL відповідає певному діапазону параметрів струму блискавки (мінімальних і максимальних значень), який система захисту має бути здатна витримати.

LPL I забезпечує найвищий рівень захисту, охоплюючи найбільший діапазон імовірних ударів блискавки (відповідно, найнижчу ймовірність пробую).

Вибір потрібного LPL здійснюється на основі оцінки ризиків згідно з наступною частиною серії – ІЕС 62305-2.

4. Типи пошкоджень та небезпеки

Стандарт ідентифікує чотири основні джерела пошкоджень (S1, S2, S3, S4), які спричиняються блискавкою, та відповідні типи небезпеки (D1, D2, D3, D4), які вони викликають:

S1: Прямий удар у конструкцію.

S2: Удар поблизу конструкції.

S3: Прямий удар у лінії, підключені до конструкції.

S4: Удар поблизу ліній, підключених до конструкції.

D1 (D3): Травми людей, пожежа (теплові ефекти).

D2 (D4): Пошкодження електричних/електронних систем (імпульсні перенапруги).

5. Концепція захисних зон блискавки (LPZ)

IEC 62305-1 вводить концепцію Зон захисту блискавки (Lightning Protection Zones, LPZ). Це простір, де мінімізується електромагнітний вплив блискавки.

LPZ 0 (зовнішня зона): зона прямого удару (0A) або зона, захищена від прямого удару, але з повним струмом (0B).

LPZ 1, LPZ 2, LPZ 3... (внутрішні зони): послідовні зони, де електромагнітні поля та імпульсні перенапруги поступово знижуються за допомогою екранування та обмежувачів перенапруги (SPD).

IEC 62305-1 надає теоретичну базу та загальну структуру для проектування цілісної системи блискавкозахисту, яка включає як зовнішні, так і внутрішні заходи захисту.

1.2. Вимоги законодавства

Згідно з Законом України "Про регулювання містобудівної діяльності" та "Про пожежну безпеку", проектування та будівництво об'єктів мають здійснюватися з урахуванням усіх норм безпеки, включаючи захист від атмосферних впливів. Дотримання вимог ДСТУ EN 62305 є обов'язковим при проектуванні об'єктів класу наслідків СС2 і СС3.

2. Технічні вимоги до зовнішнього блискавкозахисту (LPS)

Зовнішня система блискавкозахисту (LPS) призначена для перехоплення прямого удару блискавки та безпечного відведення струму в землю.

2.1. Вибір рівня захисту (LPL)

Технічні вимоги починаються з визначення класу рівня захисту (LPL I, II, III або IV) на основі оцінки ризиків за ДСТУ EN 62305-2.

LPL I (найвищий захист) передбачає захист від 99% блискавок.

LPL IV (найнижчий захист) передбачає захист від 85% блискавок.

2.2. Блискавкоприймачі

Технічні вимоги до блискавкоприймачів залежать від обраного LPL та методу розрахунку зони захисту:

Методи розрахунку зони захисту (ДСТУ EN 62305-3):

Метод сфери, що котиться (Rolling Sphere Method): Універсальний та найбільш точний метод. Радіус R уявної сфери залежить від LPL (наприклад, $R = 20$ м для LPL I, $R = 60$ м для LPL IV).

Getty Images

2. Метод захисного кута: Застосовується для простих об'єктів і обмеженої висоти щогли. Кут α також залежить від LPL та висоти.

Конструкції: Стрижневі, тросові, сітчасті (блискавкоприймальна сітка).

2.3. Струмівідводи (Down Conductors)

Матеріал та переріз: Визначаються стандартом (наприклад, мідь, оцинкована сталь, алюміній) з мінімально допустимим перерізом для забезпечення надійності.

Розташування: Мають бути розташовані по периметру будівлі з дотриманням інтервалів, які залежать від LPL. Наприклад, для LPL I відстань між струмівідводами не має перевищувати 10 м, для LPL IV — 20 м.

2.4. Заземлювальний пристрій (Earthing System)

Конфігурація: Кільцевий заземлювач навколо будівлі (переважно) або вертикальні заземлювачі.

Опір: Загальний опір заземлювального пристрою повинен відповідати

вимогам стандарту (зазвичай, не більше 10 Ω , хоча для деяких систем може бути менше).

3. Технічні вимоги до внутрішнього блискавкозахисту

Внутрішній БЗ (захист від імпульсних перенапруг) є критично важливим для захисту чутливого електронного обладнання.

Екранування та еквапотенціальне вирівнювання: Обов'язкове підключення всіх металевих частин (труб, арматури, обладнання) до єдиної системи заземлення для вирівнювання потенціалів.

Пристрої захисту від імпульсних перенапруг (SPD):

SPD Type I: Встановлюються на вході в будівлю (на головному розподільчому щиті) для відведення основної енергії прямого удару блискавки.

SPD Type II: Встановлюються у вторинних розподільчих щитах для захисту від залишкової напруги.

SPD Type III: Встановлюються безпосередньо перед чутливим обладнанням.

Дотримання законодавчих та технічних вимог до блискавкозахисту, які ґрунтуються на серії стандартів ДСТУ EN 62305, є обов'язковим для забезпечення безпеки будівель. Ключовим моментом є обов'язкова оцінка ризиків за ДСТУ EN 62305-2 та подальший вибір класу LPL. На основі цього класу визначаються всі технічні параметри зовнішньої та внутрішньої систем: від радіуса сфери, що котиться, і відстані між струмовідводами до типу та розташування обмежувачів перенапруги. Комплексний підхід, що охоплює зовнішній (LPS) та внутрішній (SPD) захист, гарантує надійний захист об'єкта.

Регулювання функціонування та улаштування систем блискавкозахисту (БЗ) в Україні здійснюється згідно з наказом Міністерства економічного розвитку і торгівлі України №640 від 28 травня 2012 року. Цей наказ запровадив європейські норми ІЕС 62305:2010 з 01.08.2012 року, які були прийняті як ДСТУ EN 62305 у чотирьох частинах, що охоплюють: Загальні принципи (Частина 1), Керування ризиками (Частина 2), Фізичні руйнування споруд та небезпека для

життя людей (Частина 3) та Електричні й електронні системи (Частина 4). При цьому ДСТУ EN 62305-1:2012 (Загальні принципи) є вступною частиною, яка затверджує порядок проєктування системи блискавкозахисту (LPS). Цей міжнародний стандарт ІЕС 62305-1 був розроблений Технічним комітетом 81 МЕК і є другим виданням, що замінило технічно переглянуте перше видання 2006 року.

Жодні методи чи пристрої не можуть змінити природні атмосферні явища настільки, щоб унеможливити влучання блискавки. Доземні спалахи блискавки у споруди, будівлі чи поблизу них (включно з приєднаними лініями) є небезпечними для людей, самих об'єктів, їхнього вмісту, устаткування та ліній. Тому використання блискавкозахисту є необхідним. Визначення потреби в захисті, його економічної вигоди та підбір адекватних засобів слід проводити на основі порядкування ризиками, яке є основним предметом ІЕС 62305-2. Усі захисні заходи, описані в ІЕС 62305, є тими, чия ефективність у зниженні ризику була доведена. Комплекс усіх заходів формує всеохоплюючий блискавкозахист. З практичних міркувань, критерії проєктування, монтажу та обслуговування захисних засобів розподілені на дві групи: перша, що охоплює засоби для зменшення фізичних руйнувань та небезпеки для життя, подана в ІЕС 62305-3; друга, що стосується засобів захисту для запобігання відмовам електричних й електронних систем, викладена в ІЕС 62305-4.

Види небезпек та масштаби пошкоджень будівлі, пов'язані з різними сценаріями ураження блискавкою за стандартом ІЕС 62305 (рис. 1.1).

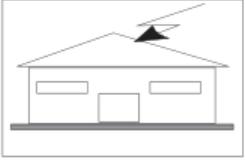
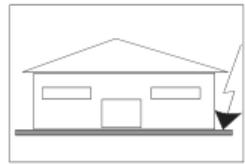
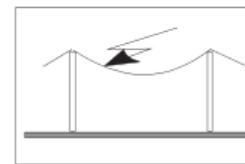
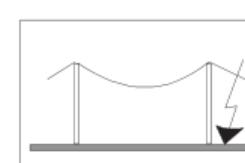
| Точка ураження Point of strike | | Джерело пошкодження Source of damage | Тип пошкодження Type of damage | Тип втрати Type of loss |
|---|--|---|-----------------------------------|---|
| Будівля (споруда) Structure |  | S1 | D1 D2 D3 | L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4 |
| Поблизу будівлі (споруди) Near a structure |  | S2 | D3 | L1 ^b , L2, L4 |
| Лінія, приєднана до будівлі (споруди) Line connected to the structure |  | S3 | D1 D2 D3 | L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4 |
| Поблизу лінії Near a line |  | S4 | D3 | L1 ^b , L2, L4 |
| ^a Лише для господарств, якщо можлива загибель тварин ... Only for properties where animals may be lost... | | | | |
| ^b Лише для споруд з ризиком вибуху та для медичних закладів або інших будівель (споруд), де відмова внутрішніх систем спричиняє безпосередню загрозу людському життю Only for structures with risk of explosion and for hospitals or other structures where failure of internal systems immediately endangers human life. | | | | |

Рис. 1.1 - Види небезпек та масштаби пошкоджень будівлі ІЕС 62305 [1]

ДСТУ EN 62305-1:2012 містить детальну структуризацію та класифікацію джерел і типів пошкоджень, які потребують оцінки ризиків. Відповідно, у стандарті вводяться визначення ризиків та типів збитків, що можуть виникнути внаслідок прямого удару блискавки (ПУБ). Також у ньому визначено параметри струму блискавки, критерії захисту будівель і споруд, рівні блискавкозахисту (LPL) та зони блискавкозахисту.

ДСТУ EN 62305-2:2012 (Захист від блискавки. Частина 2. Керування ризиками) розглядає існування певного набору можливих втрат для кожного об'єкта. У цьому нормативному документі прийняті конкретні підходи до

керування ризиками, що стосуються можливості втрати людського життя, а також економічних та культурних збитків.

Будівлі (споруди) та лінії піддаються небезпеці від доземних спалахів блискавки. Ця небезпека може проявлятися як: пошкодження як самої споруди, так і її вмісту; збої у функціонуванні електричних та електронних систем, приєднаних до об'єкта; і ризик для життя осіб, що знаходяться в споруді чи поблизу.

Пошкодження та відмови можуть мати опосередковані наслідки, які відчуються поблизу споруди або зачіпають її оточення. Для скорочення втрат від блискавки можуть бути потрібні захисні заходи. Рішення про їхнє застосування та необхідний обсяг слід приймати на основі оцінювання ризику. Ризик, який стандарт визначає як ймовірну середню щорічну втрату в об'єкті через спалахи блискавки, залежить від трьох чинників: річної кількості спалахів, які впливають на будівлю; ймовірності пошкодження від одного такого спалаху; і середньої величини непрямих втрат [1-4].

Вплив спалахів блискавки на будівлю (споруду) може бути класифікований так: пряме влучання в об'єкт; або влучання поблизу об'єкта, безпосередньо в приєднані лінії (наприклад, живильні чи телекомунікаційні), чи поблизу цих ліній.

Влучання блискавки в будівлю (споруду) чи приєднані лінії може призвести до фізичних руйнувань і створити загрозу життю. Водночас, спалахи поблизу об'єкта або лінії, так само як і прямі влучання, здатні викликати відмову електричних та електронних систем через перенапруги, які виникають у результаті резистивного та індуктивного зв'язку цих систем зі струмом блискавки. Збої, викликані грозовими перенапругами в установках користувачів і в електромережах, також можуть генерувати перенапруги комутаційної природи в установках.

ДСТУ EN 62305-3:2012 (Захист від блискавки. Частина 3. Фізичні руйнування споруд та небезпека для життя людей) — дана частина стандарту IEC 62305 орієнтована на забезпечення захисту будівель (споруд) як зсередини,

так і навколо них, від фізичних пошкоджень і ризику для життя, які є наслідком впливу напруги дотику та крокової напруги.

При роботі над проектом фахівець може детально ознайомитися з усіма вимогами щодо захисту будівлі (споруди) від фізичних пошкоджень за допомогою системи блискавкозахисту (LPS), а також із заходами запобігання небезпеці для життя від напруги дотику і крокової напруги, що можуть виникати поруч із LPS.

Сфера застосування стандарту охоплює: проектування, монтаж, інспектування та технічне обслуговування LPS для всіх будівель (споруд) без обмежень щодо їхньої висоти; а також реалізацію захисних заходів для усунення загрози для життя, спричиненої дією напруги дотику і крокової напруги.

LPS (система блискавкозахисту) визнана найефективнішим і основним засобом для захисту будівель (споруд) від фізичних пошкоджень. Вона традиційно включає компоненти зовнішньої та внутрішньої систем захисту.

Призначення Зовнішньої LPS полягає у забезпеченні: перехоплення блискавки, що влучає в об'єкт (через систему блискавкоприймачів); безпечного відведення струму блискавки до землі (із залученням системи доземних провідників); і розсіювання цього струму в ґрунті (за допомогою системи земляного закінчення).

Метою внутрішньої LPS є уникнення небезпечного іскріння всередині об'єктів. Це досягається або через еквіпотенційні сполучення, або шляхом підтримки роздільної відстані (що забезпечує електричне ізолювання) між зовнішньою LPS і струмопровідними частинами всередині будівлі. Ключові захисні заходи проти загрози життю від напруги дотику і крокової напруги мають на меті: мінімізувати ризиковане протікання струму крізь тіло людини шляхом ізоляції відкритих електропровідних елементів та/або підвищення питомого опору поверхні ґрунту; а також зменшити ймовірність ураження від напруги дотику і крокової напруги через обмеження доступу або використання попереджувальних знаків [1-4].

Для того, щоб максимально використати електропровідні частини будівлі

(споруди), необхідно ретельно визначати тип і розміщення LPS на початковому етапі проєктування. Такий підхід робить проєктування та спорудження об'єднаної системи простішим, дозволяє покращити загальні естетичні аспекти та підвищити ефективність LPS з мінімальними витратами та зусиллями. Оскільки можливість доступу до землі та використання металоконструкцій фундаменту для ефективного земляного закінчення може бути втрачена після початку будівництва, необхідно розглянути питомий опір ґрунту та характер землі на найпершій стадії проєктування. Ця базова інформація є ключовою для проєктування системи уземлення і може впливати на конструкцію фундаменту. Регулярні консультації між усіма учасниками (проєктувальниками, монтажниками LPS, архітекторами, будівельниками) є необхідною умовою для досягнення оптимального результату з мінімальними витратами. Якщо блискавкозахист встановлюється на вже існуючій будівлі, слід забезпечити її відповідність принципам стандарту, а вибір типу і розміщення LPS повинен бути адаптований до особливостей існуючої споруди.

ДСТУ EN 62305-4:2012 «Захист від блискавки. Частина 4. Електричні та електронні системи, розташовані в будинках і спорудах» описує, як забезпечити захист існуючих у будівлі електричних та електронних систем. На основі цієї частини стандарту фахівець проводить аналіз результатів розрахунків ризиків та виконує підбір і монтаж відповідного типу пристрою захисту від імпульсних перенапруг (ПЗІП).

Як джерело шкоди, блискавка є явищем із надзвичайно високим рівнем енергії. Один спалах блискавки вивільняє багато сотень МДж. Якщо зіставити цю величину з кількома мДж енергії, які можуть завдати шкоди чутливому електронному обладнанню, встановленому в електричних та електронних системах усередині конструкції, то необхідність додаткових заходів захисту для цього обладнання стає зрозумілою.

Потреба в розробці цього міжнародного стандарту виникла в результаті зростання вартості збоїв електричних та електронних систем, спричинених електромагнітним впливом блискавки. Найбільш важливими є електронні

системи, задіяні в обробці та зберіганні даних, а також в управлінні процесами та безпеці на об'єктах великої складності та масштабу з високими капітальними витратами, де відключення станцій є вкрай небажаним через безпекові та фінансові міркування.

Зважаючи на викладене, Частина 4 стандарту IEC 62305 забезпечує інформацією про методи захисту, призначені для зменшення ризику постійних відмов електричних та електронних систем, що знаходяться всередині конструкцій [1-4].

Електромагнітний імпульс блискавки (LEMP) може бути причиною постійних збоїв електричних та електронних систем унаслідок: кондуктивних та індукованих перенапруг, що потрапляють на обладнання через проводку; і прямого впливу випромінюваних електромагнітних полів на обладнання. Стрибки напруги можуть походити з зовнішніх джерел (спалахи, що вражають вхідні лінії або сусідню землю, та передаються через лінії до систем усередині) або з внутрішніх (спалахи, що вражають саму конструкцію чи сусідню землю). Механізми зчеплення включають: резистивне з'єднання (наприклад, опір заземлення або екрану кабелю); зв'язок магнітного поля (спричинений петлями проводки або індуктивністю); та зв'язок електричного поля (наприклад, прийом антени).

Генерація випромінюваних електромагнітних полів відбувається за допомогою постійного струму блискавки, який протікає безпосередньо в каналі блискавки, або частини струму блискавки, що проходить через провідники (наприклад, доземні провідники зовнішньої LPS згідно з IEC 62305-3, чи зовнішній просторовий екран, описаний цим стандартом).

Застосування систем захисту від прямих ударів блискавки з ініціацією обладнанням штучної іонізації повітря у розрядному проміжку не має чіткого визначення (дозволу чи заборони) у ДСТУ EN 62305:2012, оскільки даний НД обмежується регулюванням розрахунку, що стосується природного перехоплення лідера блискавки.

Діяльність із проєктування, випробування та монтажу системи

блискавкозахисту із раннім випуском стримера регламентується основним стандартом NFC 17-102:2011. Французький національний стандарт NF C 17-102 містить опис і пропонує застосування блискавкоприймачів з ранньою системою випуску стримера для створення системи термінації повітря [2,3].

Хоча цей стандарт, зокрема французький документ NFC 17-102:2011, є чинним в інших країнах Європейського Союзу, в Україні його можна використовувати при проектуванні блискавкозахисту об'єктів лише як довідково-інформаційний матеріал, за умови, що він не суперечить вимогам інших нормативних документів (НД), прийнятих в Україні.

Стандарт NFC 17-102:2011 у розділі, присвяченому блискавкоприймачам, не суперечить розрахунковим вимогам ДСТУ EN 62305:2012 для природного перехоплення лідера блискавки, а наводить розрахунки для штучного перехоплення лідера блискавки, що є принципово відмінним підходом. Крім того, у розділах струмовідводів та уземлення, NFC 17-102:2011 відповідає вимогам ДСТУ EN 62305:2012 стосовно блискавкоприймачів, що встановлюються окремо.

Проте, система ESEAT (Early Streamer Emission Air Termination) повинна проходити випробування, бути обрана та встановлена відповідно до стандарту, що її описує. Цей стандарт ESEAT прийнятий також в інших національних стандартах, зокрема: UNE 21186 (Іспанія), SRPS N.B4.810 (Сербія), I 20 (Румунія), STN 3-1391 (Словаччина), IRAM 2426 (Аргентина), MKS N.B4.810 (Македонія) та NP 4426 (Португалія) [3].

Додатково до основних стандартів, що регулюють захист від блискавки, використовуються такі нормативні документи: BS 7430 (Захисне заземлення); BS 7671 (Вимоги до електроустановок); Серія BS EN 62561 (LPSC-компоненти); СОМАН (Керівництво з інспекції систем на об'єктах великих аварій); OG (Додаток 1: Управління займанням від блискавки); Серія IEC/BS EN 61643 (вимоги для пристроїв захисту від перенапруги); JSP 482MOD (Правила щодо вибухових речовин); а також UL 467 (Обладнання для заземлення та склеювання).

Вимоги до захисту від блискавки часто включені до національних законів або галузевих кодексів у багатьох державах. Зокрема, в Іспанії це: Будівельний кодекс, що є обов'язковим стандартом, який встановлює розрахунок ризику для визначення необхідності системи захисту від блискавки (LPS) і містить базові правила встановлення. Крім цього, Закон про запобігання трудовим ризикам вимагає блискавкозахисту на робочих місцях згідно зі стандартами UNE, причому NTP1084 спеціально розглядає запобігання небезпеці праці, пов'язаній із блискавкою.

Система регламентів і норм блискавкозахисту у Сполучених Штатах

Питання захисту від блискавки у Сполучених Штатах Америки регулюється Національною комісією протипожежного захисту (NFPA), яка опублікувала «Стандарт для встановлення систем блискавкозахисту» (документ № 780). Цей документ є національним посібником для проектування завершених систем блискавкозахисту у США. NFPA видала перший документ про блискавкозахист у 1904 році. Документи NFPA, зокрема Національний електричний кодекс (NFPA 70), Національний кодекс паливного газу (NFPA 54) та Єдиний протипожежний кодекс (NFPA 1), формуються комітетом, який відповідає за їхній періодичний перегляд та включення нової інформації з техніки безпеки, що стосується конкретної пожежної тематики [26].

Перегляд Стандарту захисту від блискавки № 780 для оновлення відбувається на трирічний цикл. NFPA 780 включає захист від блискавки для типових будівельних конструкцій. Документ NFPA 780 охоплює багато спеціальних конструкцій: сховищ небезпечних матеріалів, човнів і кораблів, відкритих споруд для пікніка, а також дає рекомендації щодо особистої безпеки на відкритому повітрі при грозі.

Underwriters Laboratories (UL) проводить випробування компонентів блискавкозахисту на виробництві перед їхнім маркуванням і включенням до переліку. Стандарт UL 96 містить мінімальні вимоги до конструктивних елементів: повітряних терміналів, кабельних провідників, фітингів, з'єднувачів і

кріплень, що використовуються в якісних системах блискавкозахисту. Для забезпечення відповідності перед використанням, UL має інспекційний персонал, який регулярно перевіряє виробничі потужності.

Для проектування систем Інститут захисту від блискавок (LPI) використовує останню редакцію стандарту NFPA 780 як довідковий матеріал. LPI рекомендує залучати UL як сторонній інспекційний орган для перевірки компонентів згідно зі стандартом UL 96. LPI також публікує документ № 175, який містить основу NFPA 780 та додаткові пояснювальні матеріали, призначені для інспекторів і монтажників [18].

Нормативні вимоги до систем блискавкозахисту в Австралії та Новій Зеландії

AS/NZS 1768:2007 є актуальним стандартом блискавкозахисту для Австралії та Нової Зеландії. Він включає розділ комплексної оцінки ризиків, розроблений на основі стандартів ІЕС, а також прописані правила проектування систем блискавкозахисту, методика підбору захисту від перенапруг та рекомендації для проектування спеціальних будівель (наприклад, вибухових об'єктів). У ньому містяться загальні настанови щодо заходів проектування систем [6-8]. Хоча його застосування не є обов'язковим, у випадках архітектурної складності вимагається повне дотримання всіх відповідних положень стандарту, щоб забезпечити рівень захисту, який відповідає допустимому рівню ризику.

Рекомендація цього стандарту полягає в тому, щоб питання блискавкозахисту обговорювалися на стадії планування нової споруди. Це обумовлено тим, що необхідні заходи можна часто узгодити з архітектурними особливостями, не впливаючи негативно на естетику будівлі. До того ж, враховуючи естетику, встановлення системи блискавкозахисту в процесі будівництва зазвичай є економічно вигіднішим, ніж пізніше.

Визначити рівень блискавкозахисту допомагають вказівки, викладені у Розділі 2. Розділ 3 надає поради щодо захисту людей від блискавки, акцентуючи

увагу на поведінці людей, які знаходяться поза межами будівель. Якщо прийнято рішення про потребу в блискавкозахисті, Розділ 4 містить детальну інформацію про перехоплення ПУБ системою блискавкозахисту, включаючи розмір, матеріал і форму провідників, розташування повітряних терміналів і провідників, та вимоги до заземлення. Оскільки існує ризик для людей та обладнання всередині будинків від непрямого впливу блискавки, Розділ 5 містить рекомендації щодо їхнього захисту від цього впливу.

Методи блискавкозахисту для предметів, що не розглядалися раніше (як-от антени зв'язку, димарі, човни, паркани та інші), описані у Розділі 6 [7]. Додатково введено пункт про захист житла та різноманітних споруд у громадських місцях, де повна система захисту може бути економічно не виправданою, але бажаним є забезпечення певного захисту.

Рекомендації для забезпечення захисту конструкцій із вибухонебезпечним або легкозаймистим вмістом описані у Розділі 7 [7]. Розділ 8 [7] охоплює поради щодо запобіжних заходів, необхідних під час встановлення, перевірки, тестування та обслуговування систем блискавкозахисту.

Регламент блискавкозахисту, що діє на території Японії

Японський промисловий стандарт JIS Z 9290:2019 був спочатку розроблений у 2014 році на основі другого видання IEC 62305-3:2010 з деякими технічними модифікаціями. Наразі цей стандарт переглянуто для внесення подальших змін з урахуванням специфічних умов Японії.

Перегляд цього японського промислового стандарту був ініційований Міністром землі, інфраструктури, транспорту та туризму за результатами обговорення в Комітеті з промислових стандартів Японії. Це сталося після отримання пропозиції щодо перегляду від Інституту інженерів з електромонтажу Японії (IEIEJ).

Під загальною назвою «Захист від блискавки» видано Серію JIS Z 9290, яка включає такі три частини: Частина 1 (Загальні принципи); Частина 2 (Фізичні пошкодження конструкцій та небезпека для життя); і Частина 3 (Електричні та електронні системи всередині конструкцій).

Метою даного стандарту є забезпечення захисту всередині та навколо споруди від фізичних руйнувань і шкоди живим істотам (людині та худобі), спричиненої напругою дотику і кроковою напругою [7].

Для захисту від перенапруг використовуються такі стандарти: Міжнародний стандарт ІЕС 61643 визначає вимоги (разом із випробуваннями) і правила встановлення пристроїв захисту від перехідних перенапруг. Європейський стандарт EN 50550 встановлює вимоги до якості, безпеки та електромагнітної сумісності захисних пристроїв, призначених для боротьби з тимчасовими перенапругами.

Серед інших національних стандартів слід виділити: UL 1449 (США), стандарт для пристроїв захисту від перенапруг. Крім того, в Іспанії діє обов'язковий Національний електричний кодекс та керівництво ІТС ВТ23, що визначає, в яких випадках потрібне встановлення пристроїв захисту від перенапруг.

Міжнародний стандарт ІЕС 62793 стосується профілактичного захисту і встановлює, чи потрібен монтаж грозових сповіщувачів, а також описує основні характеристики таких пристроїв.

1.2 Аналіз існуючих систем та засобів блискавкозахисту будівель і споруд

Класичний блискавкоприймач (КБ), що є частиною блискавковідводу (часто зроблений з алюмінію, сталі та міді), функціонує для перехоплення блискавки та прямого удару, відводячи потім струм блискавки до заземлювача (підземного елемента блискавковідводу). Конструкція блискавкоприймачів може включати будь-яку комбінацію таких елементів, як стрижні, натягнуті дроти (троси), та сітчасті провідники (сітки) [5-7].

Як частини LPS можуть бути використані Природні блискавкоприймачі (ПБ) — це компоненти зі струмопровідних матеріалів, які постійно інтегровані в будівлю (споруду) і залишаються незмінними (наприклад, металевий каркас або

з'єднаний риштунок). Інші природні елементи можуть бути враховані лише як доповнення до системи блискавкозахисту.

В якості природних блискавкоприймачів можуть виступати: Різні металеві частини покрівель, дахів і конструкцій, включаючи огороження, перила, труби, шпилі, флюгери, металеві дашки надбудов чи вентканалів, покриття парапетів і старе вентобладнання на покрівлі. Також можуть бути використані металеві покрівлі, за умови, що: забезпечена електрична безперервність між частинами; товщина металевого листа не менша за значення t ; товщина металевого листа не менша за значення t'' , коли пробиття, пошкодження або локальне загоряння не матиме серйозних наслідків; і вони не покриті ізоляційним матеріалом [7]. Площа поперечного перерізу має бути не меншою за значення t' чи t'' (Табл. 1.1).

Таблиця 1.1 - Вимоги щодо матеріалу, конструкції та мінімальних розмірів елементів перехоплювачів, спускових та заземлювальних провідників.

| Елемент LPS | Матеріал | Конфігурація | Мінімальний розмір (Площа поперечного перерізу) | Мінімальний розмір (Ширина × Товщина) |
|--|--------------------------|---|---|---------------------------------------|
| 1. Блискавкоприймачі (Перехоплювачі) (Стрижні, троси, сітка) | Мідь (Cu) | Суцільний / Круглий / Трос / Стрічка | 28мм ² (для круглого) | Н/Д |
| | Оцинкована сталь (Fe/Zn) | Круглий / Трос / Стрічка | 50мм ² (для круглого) | 60 × 2.0мм (для стрічки) |
| | Нержавіюча сталь (StSt) | Круглий / Стрічка | 50мм ² (для круглого) | 60 × 2.0мм (для стрічки) |
| | Алюміній (Al) | Круглий / Стрічка | 50мм ² (для круглого) | 60 × 2.0мм (для стрічки) |
| 2. Струмівідводи (Стрижні вводу до | Мідь (Cu) | Круглий / Стрічка | 16мм ² (для круглого) | 20 × 2.0мм (для стрічки) |

| | | | | | |
|--|--------------------------------|--------------------|---|-------------------------------------|-----------------------------|
| уземлювача) | | | | | |
| | Оцинкована сталь (Fe/Zn) | Круглий Стрічка | / | 50мм ² (для круглого) | 50 × 2.0мм (для стрічки) |
| | Нержавіюча сталь (StSt) | Круглий Стрічка | / | 50мм ² (для круглого) | 50 × 2.0мм (для стрічки) |
| | Алюміній (Al) | Круглий Стрічка | / | 25мм ² (для круглого) | 50 × 2.0мм (для стрічки) |
| 3. Заземлювальні провідники (Доземні провідники) | Мідь (Cu) | Круглий Стрічка | / | 50 мм ² | 50 × 2.0мм |
| | Оцинкована сталь (Fe/Zn) | Круглий Стрічка | / | 50мм ² | 50 × 2.0мм |
| | Нержавіюча сталь (StSt) | Круглий Стрічка | / | 50мм ² | 50 × 2.0мм |

Сутність блискавкоприймача з системою раннього випуску стримера (ESEAT) полягає у використанні вбудованого електронного пристрою для генерування високовольтних імпульсів. Це ініціює створення "штучного" лідера, завдяки чому пристрій може перехопити ПУБ на дальшій відстані, ніж класичний блискавкоприймач.

Функціонування ESE базується на концепції направлення потоку іонів вгору, назустріч блискавці, прискорено і з випередженням природного процесу. Для реалізації цього принципу в активну головку зазвичай вбудовують конденсатор (рис. 1.2). Конденсатор та загальна працездатність системи потребують періодичної перевірки після кожного удару блискавки, а також перед початком кожного грозового сезону, оскільки пристрій може втратити свою активність [12].

- 1 - Наконечник блискавкоприймача
- 2 - Високовольтна система (катушка індуктивності)
- 3 - Генератор імпульсної напруги та іскровий зазор
- 4 - З'єднувальна муфта M16

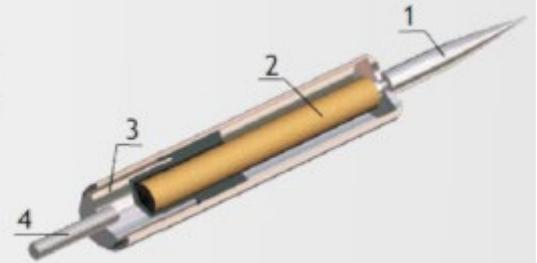


Рис. 1.2 - Конструкція активного блискавкоприймача Gromostar [11]

Наконечник і корпус блискавкоприймача виконують роль електрода, що акумулює електричний заряд із електромагнітного поля грозової хмари або спадного лідера; у схемному поданні це відповідає конденсатору C_a . У середині корпусу розміщено індуктивну катушку з індуктивністю кількох Генрі (елемент $L-R$). Послідовно з катушкою під'єднано розрядник із власною ємністю C_p . Високовольтні резистори та конденсатори організовані за схемою Маркса: заряд конденсаторів відбувається через резистори, а їхній розряд — через розрядники, настроєні на спрацьовування при напрузі приблизно 12–14 кВ. У момент розряду напруги на конденсаторах підсумовуються, формуючи імпульс понад 200 кВ.

Робота системи активного блискавкоприймача включає дві фази.

1. Фаза формування нижнього лідера

У міру наближення грози напруженість електричного поля поблизу земної поверхні зростає. Це спричиняє наведення напруги на високовольтній катушці блискавкоприймача за законом

$$U_p = L \cdot di/dt,$$

внаслідок чого конденсатор C_p заряджається до значення 10–30 кВ. Розряд розрядника викликає струм у катушці, що створює додаткову індуковану напругу на наконечнику блискавкоприймача. Її величина може майже вдвічі перевищувати рівень, характерний для традиційних систем блискавкозахисту.

2. Фаза проходження струму блискавки

Коли напруга на конденсаторах досягає 10–30 кВ, відбувається пробій розрядників і формується короткий імпульс амплітудою понад 200 кВ. Його

полярність протилежна полярності грозового фронту, що створює іонізований канал — зворотний розряд — який спрямовує блискавку до блискавкоприймача. Такий канал умовно збільшує ефективну висоту приймача та значно розширює зону його захисту незалежно від полярності удару.

За напруг $U < 20$ кВ струм проходить усередині блискавкоприймача. За $U > 20$ кВ відбувається пробій іскрового проміжку, і весь струм блискавки переходить на зовнішню поверхню корпусу. У цей момент внутрішня схема повністю шунтується, а струм через котушку практично зникає.

1.3 Специфіка будови та вимоги до розміщення класичних систем блискавкоприйому та активних приймачів ESEAT.

Всі конструктивні елементи будівлі (включаючи покрівлю та виступаючі над нею конструкції, устаткування тощо) повинні перебувати у зонах захисту, сформованих завдяки розміщенню блискавкоприймачів. Крім того, необхідно забезпечити з'єднання щогл, блискавкозахисної сітки та інших елементів блискавкоприймачів в одну спільну систему [12]

Неізольовані блискавкоприймачі LPS можуть бути розміщені наступним чином: при негорючому матеріалі покрівлі, БП дозволяється встановлювати на поверхні даху; якщо дах легкозаймистий, обов'язковою є витримка відстані між провідниками блискавкоприймача та цим матеріалом; легкозаймисті елементи будівлі не повинні мати прямого контакту з компонентами зовнішньої LPS, а також не мають розташовуватися безпосередньо під металеву оболонку покрівлі, що може бути пробита ПУБ.

Якщо висота будівлі більше 60 м, при проєктуванні БЗ слід враховувати, що ПУБ можуть вражати бокові поверхні, особливо її краї та кути. Тому для захисту верхньої частини високих споруд блискавкоприймачі мають бути встановлені на верхній ділянці, що складає 20% висоти будівлі. Наприклад, для споруд висотою від 75 м вимагається захист частини, розташованої на позначці 60 м і вище [17]

Особливості улаштування ESEAT

Будь-яка система блискавозахисту вимагає проведення аналізу ризиків для встановлення мінімального необхідного рівня блискавозахисту, як і у випадку класичної системи. Радіуси захисту для споруд визначаються на основі особливостей та висоти будівлі. Ці радіуси обчислюються згідно з NFC 17-102, використовуючи різницю висот H між кінцем блискавоприймача та найвищою точкою захищуваної будівлі чи конструкції (рис. 1.3) .

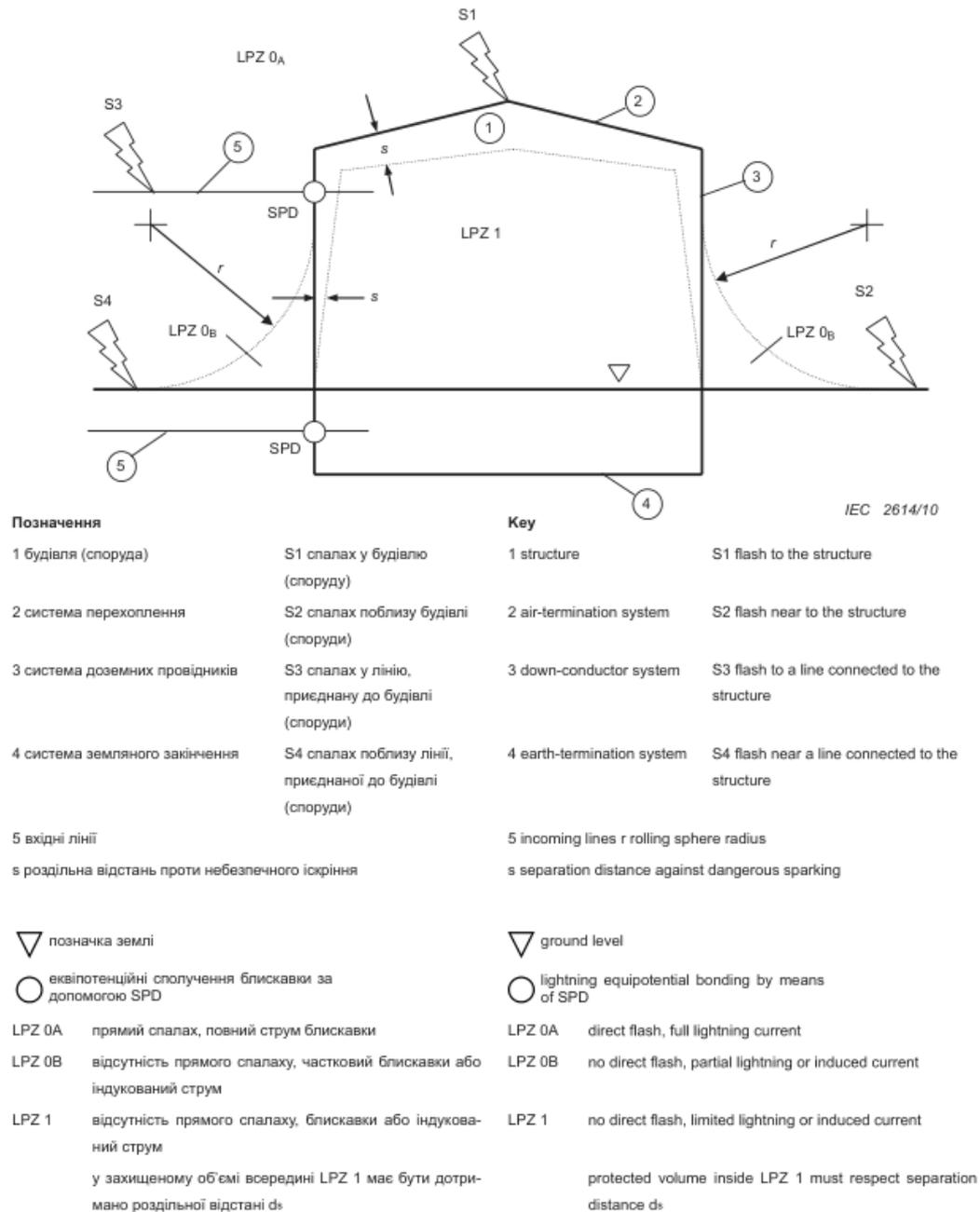


Рис. 1.3 - LPZ, визначені LPS (IEC 62305-3) [21]

Для ефективного захисту верхня частина ESEAT має бути встановлена на висоті не менше 2 м над захищуваною зоною. Це стосується таких елементів, як антени, дахи, резервуари та вентиляційні споруди. Приклад розташування ESEAT показано на Рис. 1.4 .

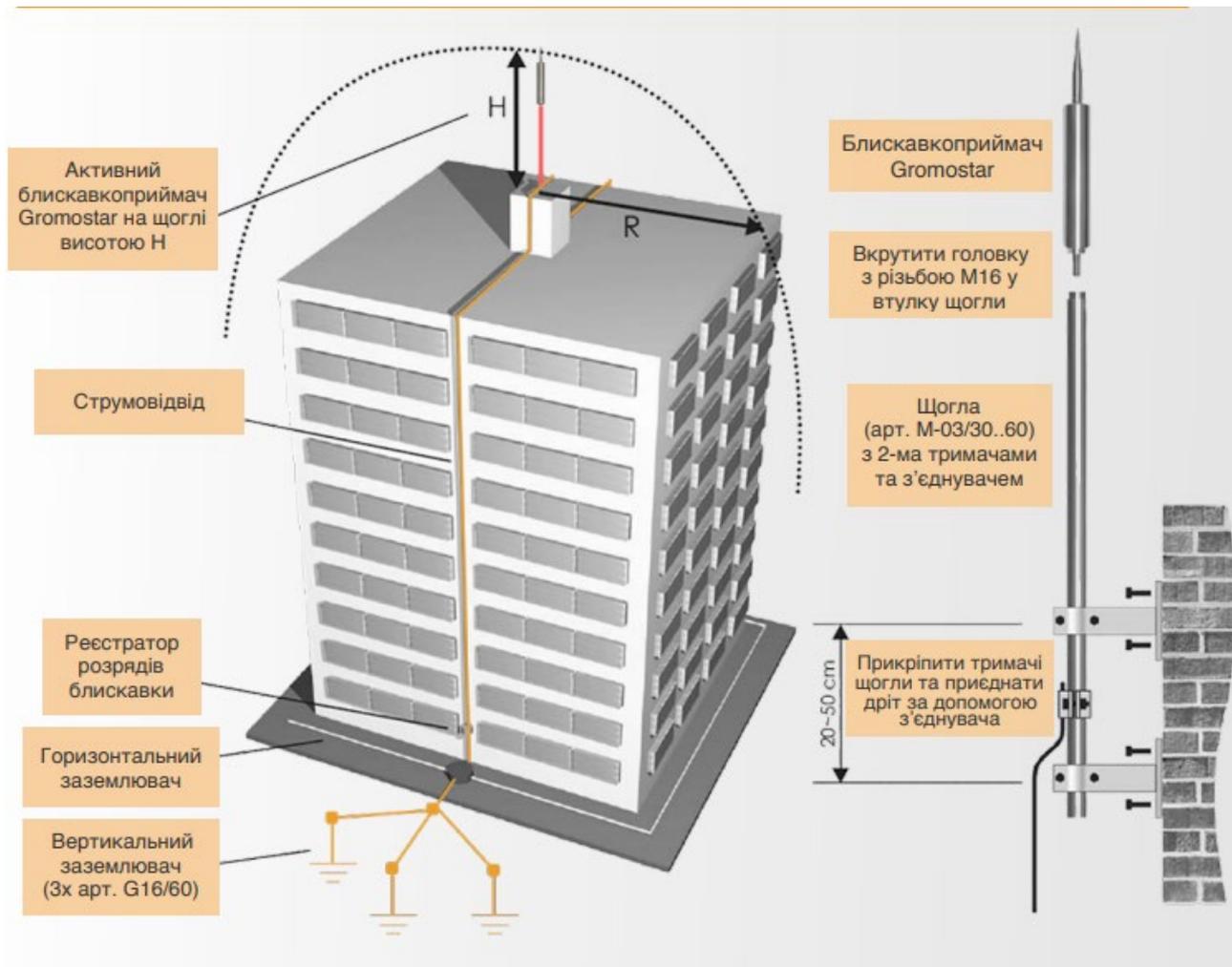


Рис. 1.4 - Схематичне відображення конструкції блискавкоприймача Gromostar [23])

Рекомендація при проектуванні ESES полягає у врахуванні архітектурних місць, що забезпечують належне розміщення ESEAT. Місця архітектурних підвищень на покрівлі чи даху, де можна розмістити ESEAT: тераси на верхніх поверхах; гребінь даху; та кам'яні або металеві димоходи.



Рис. 1.5 Реєстратор ударів блискавки PLW-03.A [11].

1.4 Дослідження особливостей доземних провідників у класичному блискавкозахисті та в активних приймачах ESEAT

Призначенням доземного провідника (струмовідводу), як зовнішньої частини захисної системи, є направлення струму блискавки від блискавкоприймача до заземлюючого контуру, (рис.1.6).

Правильне розміщення струмовідводів має вирішальне значення для ефективності системи доземних провідників, оскільки воно повинно гарантувати паралельне проходження струму; хоча для вертикального блискавкоприймача достатньо одного провідника, кожна неізольована LPS вимагає мінімум двох струмовідводів, причому відстань між ними залежить від класу LPS, (табл.1.2)

Таблиця 1.2 - Нормативні та середні проміжки між струмовідводами [10]

| Рівень блискавкозахисту (LPL) | Радіус сфери, захисту (R, м) | Максимальна середня відстань між струмовідводами (м) |
|-------------------------------|------------------------------|--|
| LPL I (Найвищий захист) | 20 | 10 |
| LPL II (Високий захист) | 30 | 15 |
| LPL III (Середній захист) | 45 | 20 |
| LPL IV (Базовий захист) | 60 | 20 |

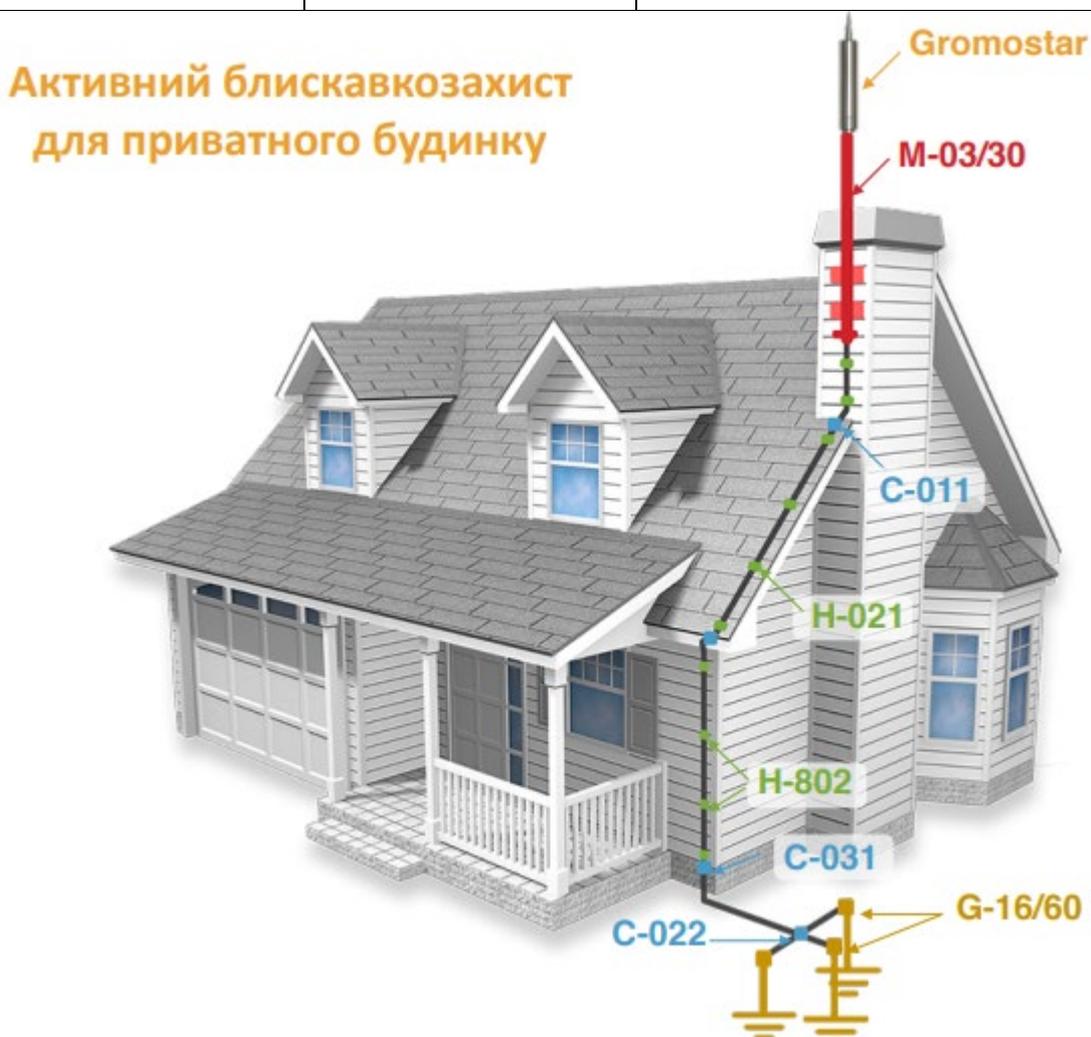


Рис. 1.6 - Доземні провідники у конструкціях блискавкозахисту [15].

1.4.1. Порівняльний аналіз доземних провідників у активній системі блискавкозахисту ESEAT

Проектуючи доземні провідники для неізолюваної LPS системи ESEAT (відповідно до [15]), кожен блискавкоприймач має бути обладнаний щонайменше двома струмовідводами, які слід монтувати так, щоб забезпечити максимально прямий і найкоротший шлях для струму, уникаючи різких вигинів або підйомів, при цьому радіуси вигину не повинні бути менше 20 см (рис. 1.7), а для підвідних провідників рекомендується використовувати вигини, сформовані по краях.

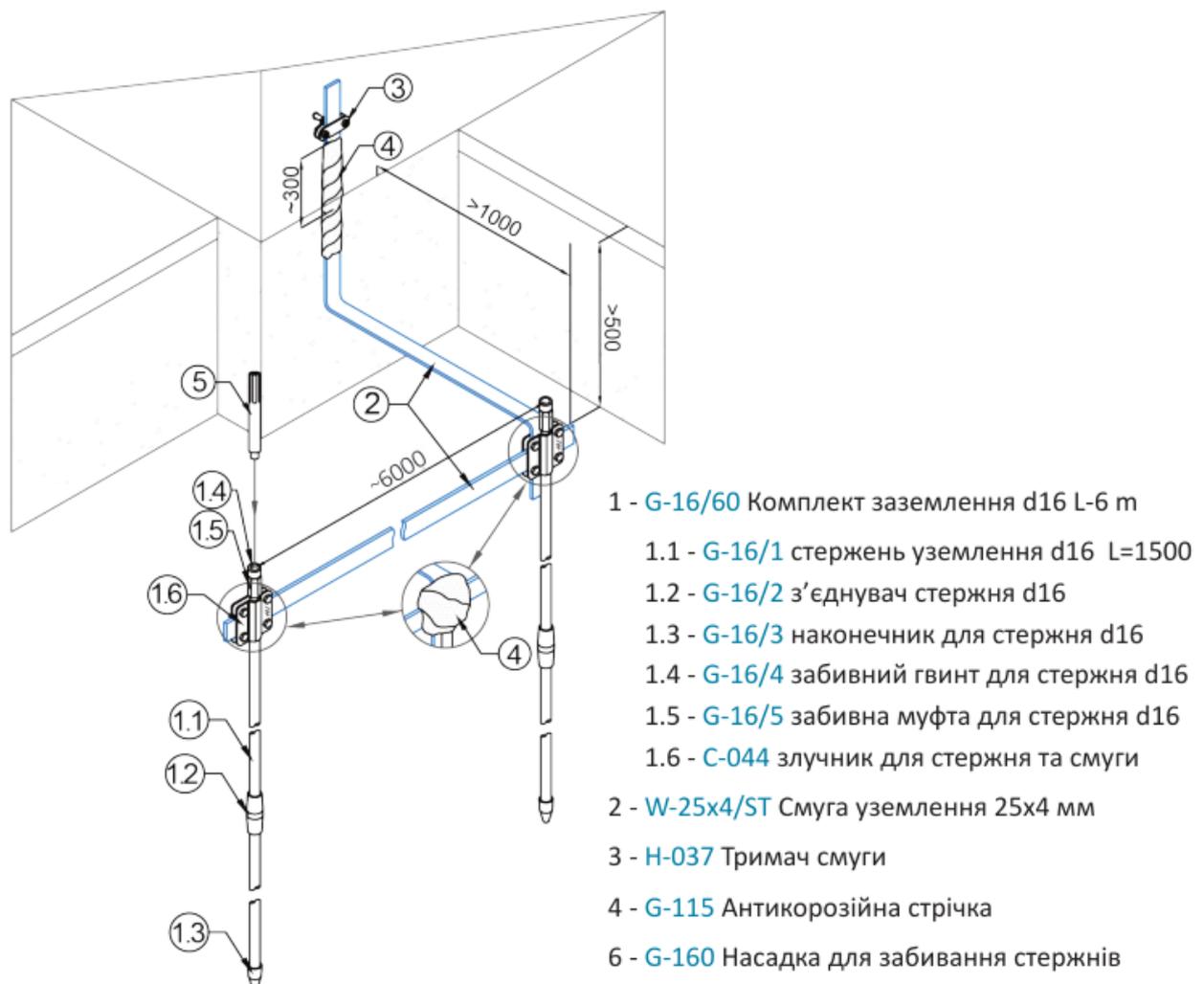


Рис. 1.7 - Доземна система блискавкозахисту [15]

Доземні провідники (ДП) мають прокладатися прямо і найкоротшим шляхом, але дозволено перетинати парапети висотою до 40 см під кутом, який є меншим за 45° (рис. 1.7, випадок е.); крім того, для визначення мінімального радіуса вигину використовується розрахунок відстані поділу $l = l_1 + l_2 + l_3$ [15] залежно від випадку f.) на тому ж Рис. 1.7.

Доземні провідники (ДП) вимагають монтажу з розрахунку три кріплення на кожен метр (або через кожні 33 см), при цьому ці кріплення мають бути сумісними з опорами та не впливати на водонепроникність даху, а також забезпечувати теплове розширення провідників; відвідні ДП необхідно захистити від механічних пошкоджень за допомогою захисних трубок на висоті не менше 2 метрів від рівня землі.

1.4.2. Конструктивні особливості зовнішнього оформлення доземних провідників у системі ESEAT

У разі облаштування фасаду металевим, кам'яним чи скляним облицюванням, дозволяється розташування провідників під облицюванням, на бетонному фасаді або несучій конструкції; важливо, що струмопровідні частини цього облицювання мають бути підключені до ДП як у верхній, так і у нижній частині.

Для доземних провідників, виконаних з матеріалу, відмінного від міді, необхідно дотримуватися відстані більше 10 см до легкозаймистих елементів фасаду, якщо переріз провідника становить менше 100 мм^2 ; однак, у випадку, коли площа поперечного перерізу складає 100 мм^2 або більше, обов'язок дотримання відстані між струмопровідним провідником та ізоляційним облицюванням скасовується.

1.5. Проектування заземлювальних пристроїв у класичних та активних системах ESEAT

Важливими критеріями при аналізі високочастотного розсіювання струму блискавки в землі та запобіганні потенційно небезпечним перенапругам є конфігурація та габарити системи земляного закінчення; як правило, рекомендується забезпечувати низький опір заземлення (не вище 10 Ом).

Для відведення струму блискавки та його подальшого розтікання в землі використовується уземлювач, що є компонентом зовнішньої системи блискавкозахисту [9]; в ролі природних заземлюючих електродів можна застосовувати з'єднану залізобетонну арматуру або інші металеві підземні елементи, розміри яких відповідають мінімальним вимогам [10]

Незалежно від типу використовуваної системи блискавкозахисту (чи то класична БЗ, чи ESEAT), є обов'язковою вимогою об'єднання всіх систем заземлення в межах одного об'єкта.

Існують два ключові типи розміщення електродів заземлення для систем земляного закінчення: тип А і тип В.

Розміщення типу А характеризується застосуванням уземлювальних електродів, встановлених назовні від споруди (як горизонтальних, так і вертикальних), з'єднаних з кожним ДП, або ж фундаментних уземлювачів, які не замкнені в коло; цей метод вимагає, щоб загальна кількість уземлювачів була щонайменше 2 одиниці (рис. 1.8).

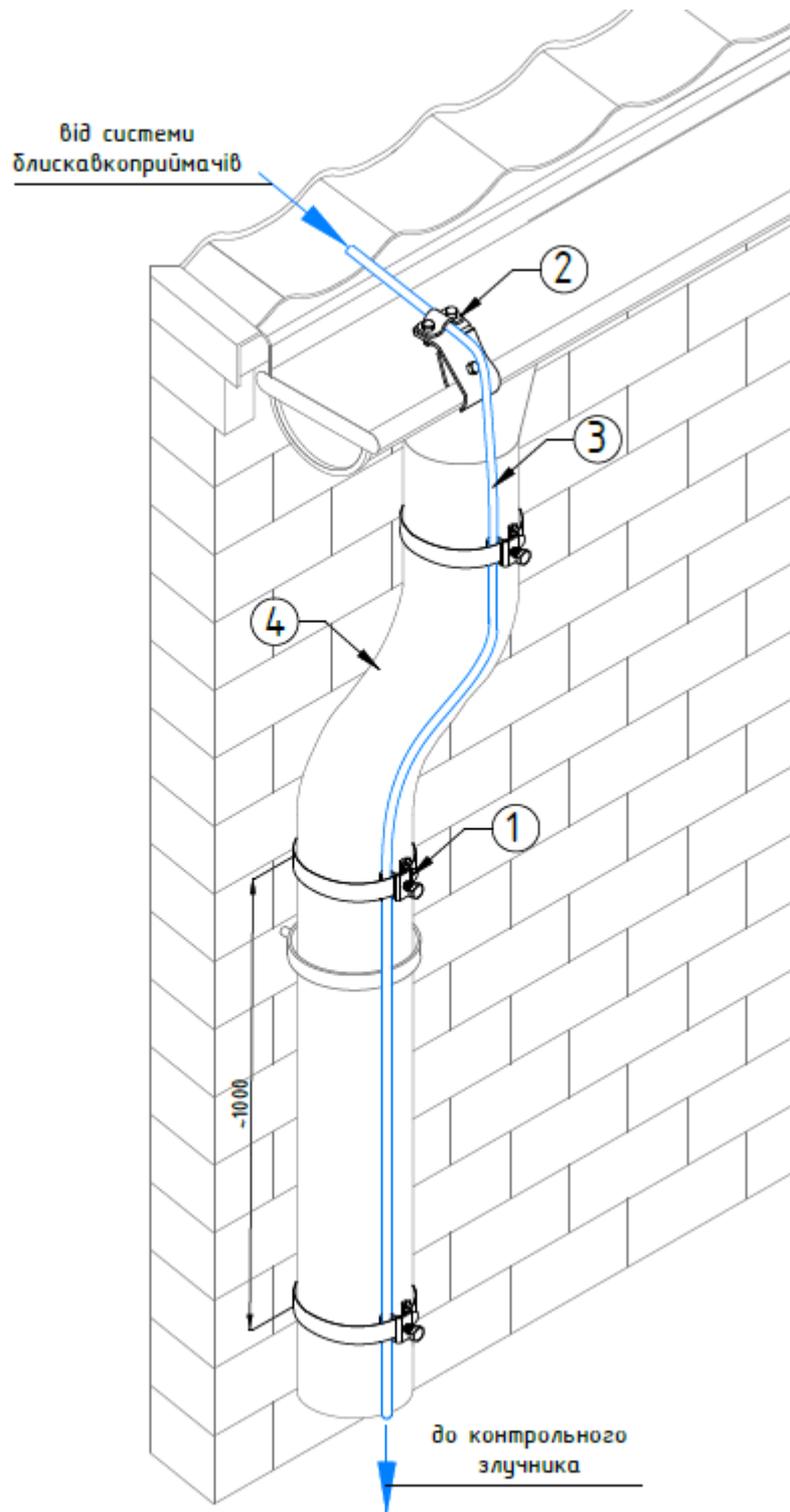


Рис. 1.8 - Прокладання провідників по фасаді [15]

До переліку об'єктів, де можна влаштовувати розміщення типу А, входять: малі житлові будинки для однієї родини, малі побутові будівлі (гостьові будинки, гаражі), системи блискавкозахисту (LPS) з вертикальними стрижневими блискавкоприймачами, грозозахисні системи з тросами, існуючі об'єкти, а також ізольовані LPS [10]

Розміщення тип В. Цей тип включає зовнішній кільцевий провідник стосовно споруди, що захищається, який контактує з ґрунтом принаймні на 80% його загальної довжини, або фундаментний уземлювальний електрод, який утворює замкнене коло. Такі уземлювальні електроди можуть також бути поєднані у сітку.

Для кільцевого уземлювального електрода бажана глибина закладання становить не менше 0,5 м при відстані приблизно 1 м від зовнішніх стін; уземлювачі також повинні мати верхній край на глибині мінімум 0,5 м та бути рівномірно розподіленими для зменшення електричної взаємодії в землі [10]

Допустимо використовувати з'єднану арматуру з залізобетону чи інші підземні металеві елементи як природні заземлювачі, якщо їхні найменші розміри відповідають значенням у таблиці 7 стандарту ДСТУ EN 62305-3:2012 [15].

1.5.1. Уземлюючі пристрої типу А

Слід розміщувати уземлюючі електроди верхнім краєм на мінімальній глибині 0,5 м і, якщо можливо, рівномірно, що дозволить зменшити електричну взаємодію у землі; опір уземлення не повинен перевищувати 10 Ом незалежно від пори року; мінімальна довжина кожного вертикального уземлювального електрода обчислюється за формулою $0,5 L1$, де значення $L1$ беруть із графіка, виходячи з питомого опору ґрунту (рис. 1.9).

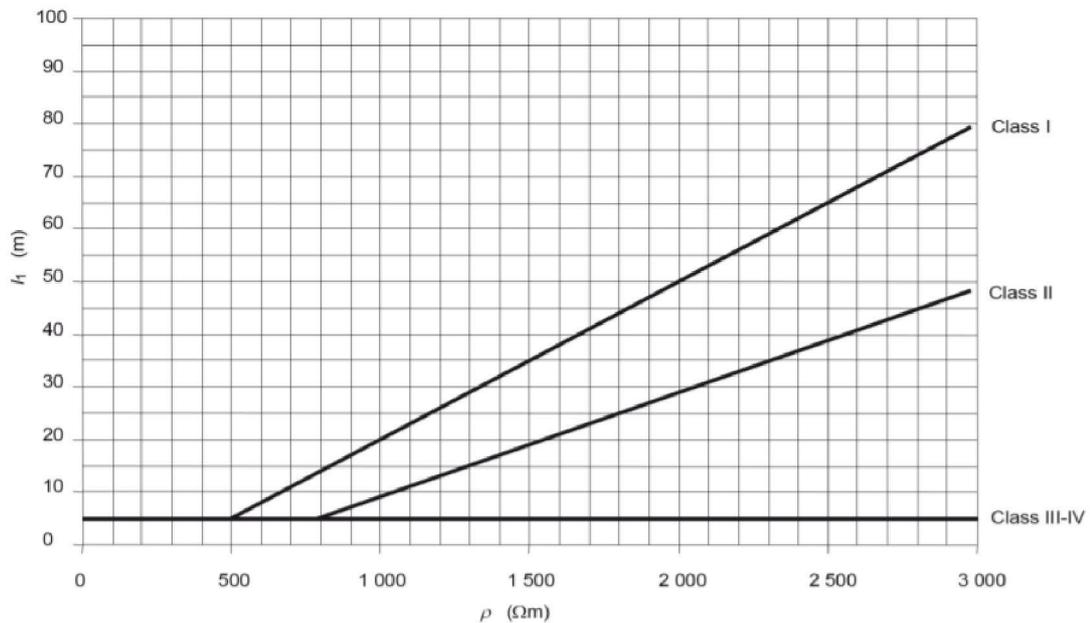


Рис. 1.9 - Графічне представлення впливу питомого опору на довжину вертикального уземлювача [9]

1.5.2. Уземлюючі пристрої типу В

Горизонтальний кільцевий уземлювач навколо споруди повинен мати 80% своєї довжини у контакті з землею, залишаючи до 20% можливим проходженням над поверхнею; кільце провідника для типу В завжди замкнене; провідник допустимо прокладати у фундаменті, а кільцевий уземлювач слід розміщувати на глибині мінімум 0,5 м та на відстані не менше 1 м від стін; при порівнянні вимог [9] та [15], вимоги до заземлення для класичної системи та системи ESEAT є однаковими.

Висновок до розділу

У першому розділі проведено всебічний аналіз чинної нормативної документації, що регламентує вимоги до проєктування та монтажу систем блискавкозахисту. Розглянуті стандарти та технічні норми дозволили визначити основні принципи побудови ефективних систем захисту від блискавки, а також окреслити вимоги до їхньої надійності та безпеки.

Виконаний огляд існуючих типів систем грозозахисту, їх конструктивних елементів та особливостей функціонування дав змогу систематизувати інформацію про сучасні підходи до організації зовнішнього та внутрішнього блискавкозахисту. Детально описані компоненти блискавкоприймальної, струмовідвідної та заземлювальної частин, а також визначені основні етапи їх проєктування та монтажу відповідно до чинних норм.

Підсумовуючи, можна зазначити, що проведений у розділі аналіз формує необхідне теоретичне підґрунтя для подальших досліджень ефективності різних типів блискавкоприймачів та забезпечує методологічну базу для практичної частини магістерської роботи.

РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ СИСТЕМ БЛИСКАВКОЗАХИСТУ

2.1. Аналіз визначення зон захисту, сформованих традиційними блискавкоприймачами

Equation Chapter 1 Section 2

З метою з'ясування надійності захисної зони об'єкта, необхідно проаналізувати особливості використання методу захисного кута та блискавкоприймальної сітки [9] у зіставленні з методикою розрахунку радіуса захисту для системи ESEAT [14] залежно від висоти блискавкоприймача; для цього потрібно по чергово розглянути кожен із трьох методів блискавкозахисту, взявши за приклад вертикальний стрижньовий блискавкоприймач і сітку [9-15].

При формуванні захисної зони на плоских дахах використовують захисну сітку, щоб захисна зона охопила всю площу, дотримуючись усіх умов, зазначених у [9]: провідники мають бути розташовані вздовж краю та причілків покрівлі, а також на конику, якщо ухил даху становить більше 1/10.

Для об'єкта, що вимагає СБЗ, розміри сітки перехоплювачів не мають перевищувати нормативів, зазначених у таблиці, і ця сітка прокладається на всій поверхні даху (рис. 2.1).

Таблиця 2.1 - Граничні допустимі розміри осередків сітки [9]

| Рівень блискавкозахисту (LPL) | Радіус сфери (R, м) | Максимальний розмір комірки сітки перехоплювача (м × м) |
|-------------------------------|---------------------|---|
| LPL I (Найвищий захист) | 20 | 5 × 5 |
| LPL II (Високий захист) | 30 | 10 × 10 |
| LPL III (Середній захист) | 45 | 15 × 15 |
| LPL IV (Базовий захист) | 60 | 20 × 20 |

При проектуванні зони захисту методом сітки ключовою особливістю є таке розміщення комірок, яке забезпечує протікання струму від ПУБ по мінімум

двох різних маршрутах до системи уземлення.

Вимога полягає в тому, що металеві елементи споруди повинні залишатися всередині контуру захисту, утвореного системою блискавкоприймальної сітки.

Необхідно, щоб провідники блискавкоприймальної сітки були прокладені найкоротшими та прямими шляхами.

Метод блискавкоприймальної сітки є одним з основних способів захисту плоских дахів і використовується відповідно до вимог стандарту ДСТУ EN 62305-3. Цей метод забезпечує повне перехоплення удару блискавки по всій площі даху.

Блискавкоприймальна сітка являє собою систему горизонтальних провідників, розташованих безпосередньо на даху або під ним. Вона створює комірки певного розміру, які гарантують, що будь-який удар блискавки буде перехоплено найближчим провідником, а не пошкодить конструкцію даху чи обладнання.

Основний принцип: Уся поверхня даху має бути розташована нижче уявної зони захисту, утвореної провідниками сітки.

2. Залежність від Рівня захисту (LPL)

Ключовим параметром для проектування сітки є максимально допустимий розмір комірки, який визначається необхідним Рівнем блискавкозахисту (LPL).

Припустимо, ми проектуємо захист для промислової будівлі з рівнем захисту LPL III.

1. Визначення розміру комірки: Згідно з таблицею, для LPL III максимальний розмір комірки становить 15×15 м.
2. Створення сітки: На даху прокладають провідники (наприклад, оцинковану сталеву проволочку $\varnothing 8$ мм) з інтервалом не більше 15 метрів по обидва боки (утворюючи квадрати 15×15 м).
3. Використання методу сфери, що котиться: Для LPL III радіус сфери становить 45 м.

Зона захисту: Вважається, що вся поверхня даху захищена, якщо уявна сфера радіусом 45 м, "прокочуючись" по провідниках сітки, жодного разу не

торкається поверхні даху.

Якщо на даху є виступаючі елементи (вентиляційні труби, парапети, обладнання), вони також мають бути включені в цю сітку або захищені окремими стрижневими блискавкоприймачами, щоб гарантувати, що сфера їх не торкнеться.

Таким чином, для LPL III формування зони захисту методом сітки з кроком 15×15 м забезпечує надійне перехоплення блискавки, оскільки відстань між провідниками є достатньо малою, щоб "заблокувати" прохід блискавки на поверхню даху.



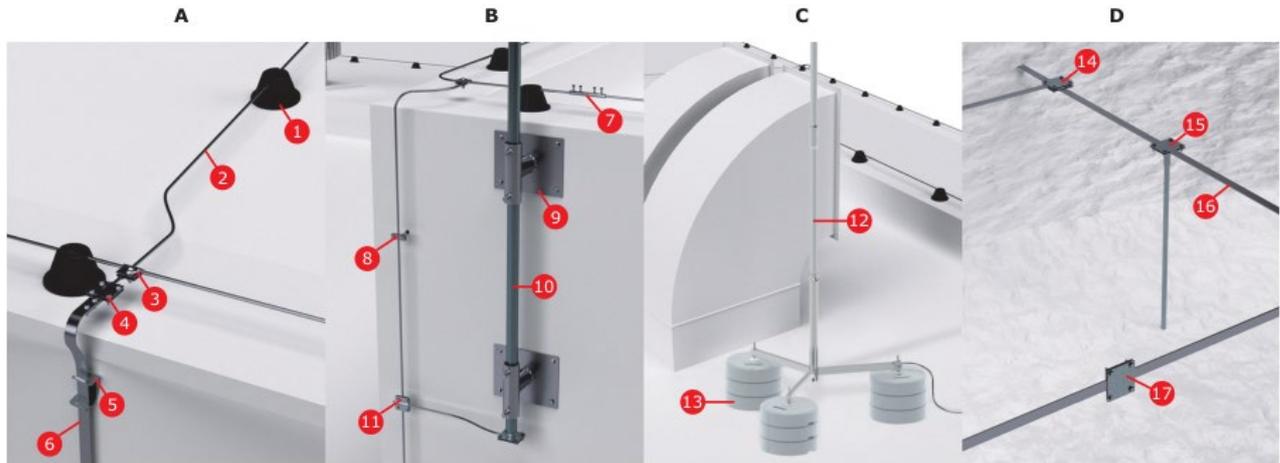
Рис. 2.1 - Приклад побудови зони захисту за технологією блискавкоприймальної сітки. [17]

Для проектування захисту у випадках, коли нахил даху перевищує 10% (6°), замість блискавкоприймальної сітки можуть бути використані паралельні провідники блискавкоприймача, за умови дотримання вимоги, що відстань між провідниками не має бути більшою, ніж нормативна ширина сітки.

Якщо нахил даху перевищує 10% (або 6°), при проектуванні захисної зони дозволяється використовувати паралельні провідники замість блискавкоприймальної сітки, з обов'язковою умовою, що відстань між провідниками не повинна перевищувати нормативної ширини сітки

Зона захисту, яку створюють вертикальні стрижневі блискавкоприймачі,

розглядається як простір у формі прямого кругового конуса. Його вершина розташована у верхній точці стрижневого блискавкоприймача, а при вершині формується половинний кут α (захисний кут). Значення цього кута залежить від класу LPS, як показано на Рис. 2.2.



1. Універсальний тримач з бетоном ND2114
2. Пруток-катанка гарячеоцинкований Ø8 NC1008.1
3. Універсальний з'єднувач NG3103
4. Контрольний з'єднувач NG3203
5. Скоба-тримач смуги ND2311
6. Смуга гарячеоцинкована 25x4 NC2254.1
7. З'єднувач круглого провідника NG3202
8. Фасадний тримач ND2307
9. Настінний тримач для блискавкоприймальної щогли довжиною 5-7 метрів NL0100NI
10. Блискавкоприймальна щогла NL7000AL
11. З'єднання прутки-пруток Ø8 NG3104
12. Блискавкоприймальна щогла NL7000AL
13. Бетонна основа 16 кг NL0316
14. З'єднувач смуга-смуга з розділовою пластиною NG3105
15. Комплект стрижневого вертикального заземлювача NE1231 + NE1232
16. Смуга гарячеоцинкована 40x4 NC2444

1. Universal holder with concrete ND2114
2. Hot dip galvanized wire Ø8 NC1008.1
3. Universal connector NG3103
4. Control connector NG3203
5. Bracket-holder for strip ND2311
6. Hot dip galvanized strip 25x4 NC2254.1
7. Connecting sleeve NG3202
8. Façade holder ND2307
9. Wall mounting support for 5-7 m rods NL0100NI
10. Air-termination rod NL7000AL
11. Wire-wire cross connector, Ø8 NG3104
12. Air-termination rod NL7000AL
13. Concrete base, 16 kg NL0316
14. Strip-strip connector with separating plate NG3105
15. Vertical earth rod kit NE1231 + NE1232
16. Hot dip galvanized strip 40x4 NC2444
17. Strip-strip connector with separating plate NG3125

Рис. 2.2 – Монтаж зон захисту

При формуванні захисної зони методом захисного кута за допомогою стрижневого блискавкоприймача, всі частини споруди повинні бути охоплені зоною, визначеною захисним кутом α ; метод захисного кута є доцільним для простих архітектурних рішень або невеликих елементів; значення захисного кута α вибирають з таблиці 2.3 [14] (рис. 2.3), виходячи з висоти блискавкоприймача h та класу LPS.

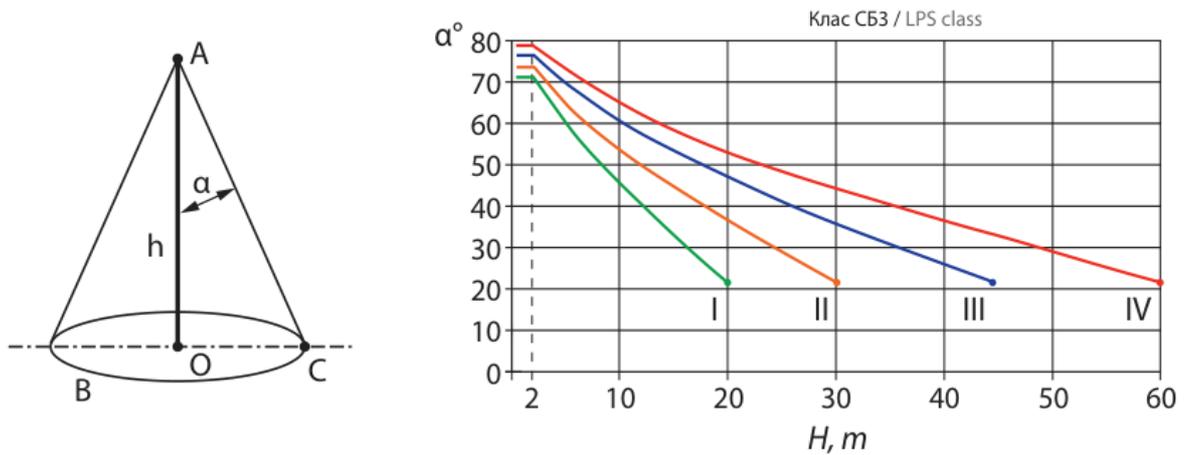


Рис. 2.3 - Граничні значення захисного кута визначені згідно з вимогами відповідного класу LPS. [9]

Якщо класична система блискавкоприймача монтується на похилому даху, стрижень встановлюється перпендикулярно до площі покрівлі.

З метою дієвого захисту споруди та її частин, при застосуванні класичної системи блискавкоприймачів, нормативні документи [14] дозволяють проектувати грозозахист із використанням одночасно кількох методів, як це проілюстровано на Рис. 2.4.

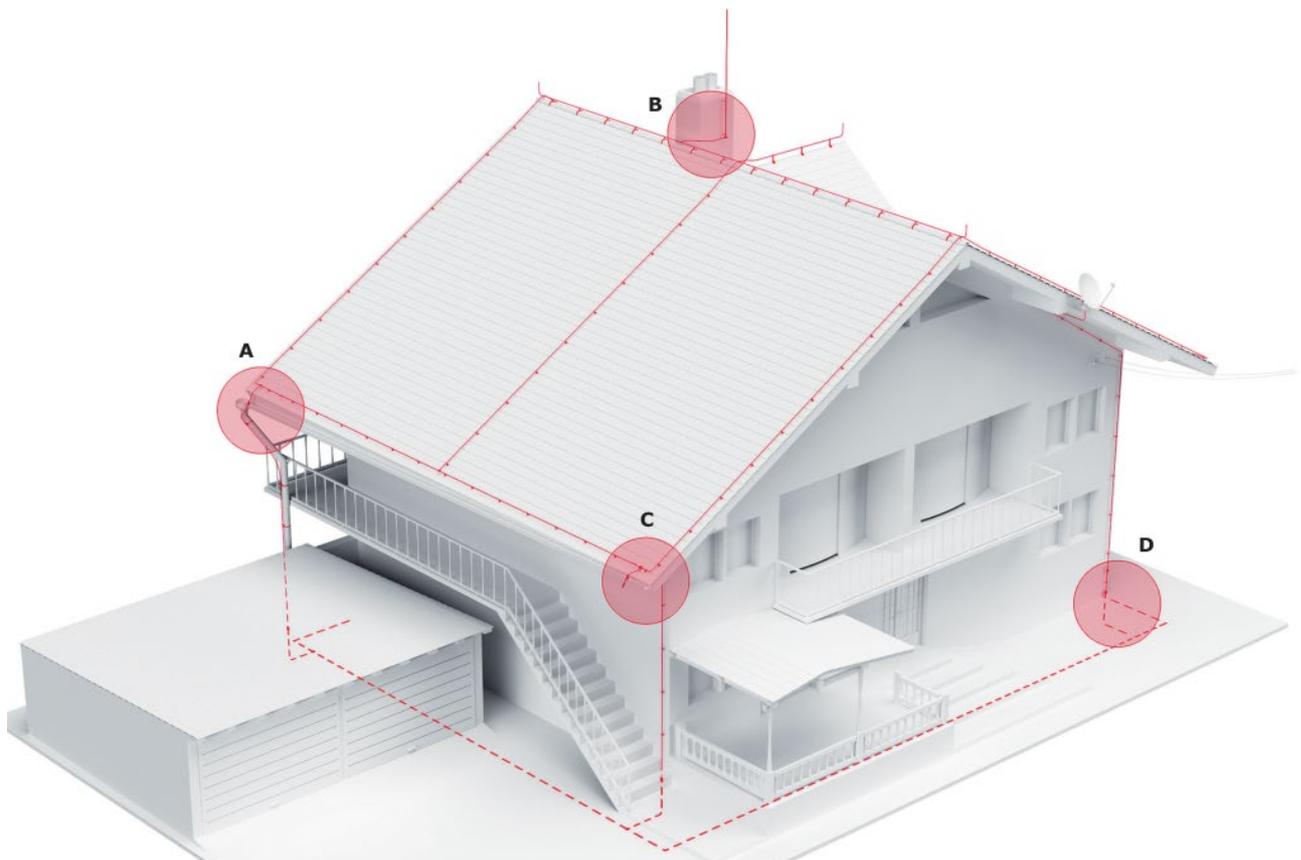


Рис. 2.4 – Комбінована система захисту. [17]

2.2. Аналіз методики визначення зон захисту, сформованих системою ESEAT

Радіус дії системи ESEAT визначається висотою штиря (h) над поверхнею, що потребує захисту, його ефективністю ЛТ (часовим випередженням) та обраним рівнем захисту LPL [15].

$$R_p(h) = \sqrt{2rh - h^2 + \Delta(2r + \Delta)}, \text{ для } h \geq 5\text{м} \quad (2.1)$$

$$R_p = h \cdot R_p(5) / 5, \text{ для } 2\text{м} \leq h < 5\text{м} \quad (2.2)$$

де $R_p(h)$ - радіус захисту.

h – висота розташування наконечника ESEAT над горизонтальною площиною, що проходить через найвіддаленішу точку об'єкта, який потрібно захистити, м;

r – базовий радіус захисту: 20 м для рівня I, 30 м для рівня II, 45 м для рівня III та 60 м для рівня IV;

$A = T \times 10^6$ – експериментальний параметр, що відповідає ефективності часового випередження, визначеній виробником системи ESEAT під час тестування.

Мінімальна висота розміщення наконечника ESEAT над захищуваною поверхнею має становити 2 м [15]. На Рис. 2.5 подано графічне пояснення методики визначення радіуса захисту системи ESEAT.

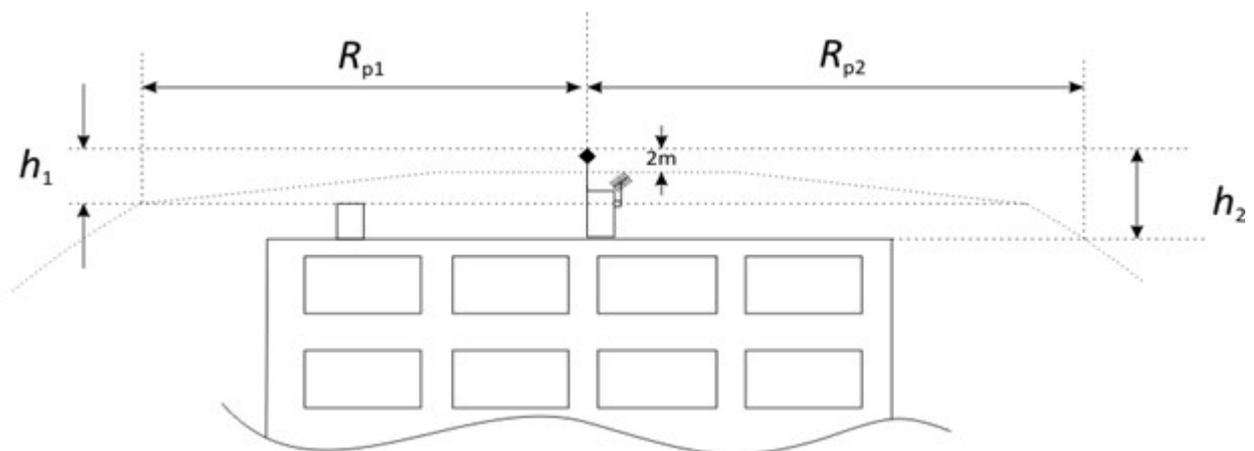


Рис. 2.5 - Радіус дії системи ESEAT.

2.3. Розрахунок системи доземних провідників при улаштуванні класичної системи блискавкозахисту та ESEATS

Для вертикального блискавкоприймача, встановленого окремо, вистачає одного струмовідводу, натомість кожна неізолювана LPS повинна мати мінімум два доземні провідники; рекомендується рівномірне розміщення доземних провідників по периметру, а середня відстань між ними визначається відповідно до таблиці 2.2 [8]

Таблиця 2.2 - Максимальні відстані між струмовідводами (доземними провідниками)

| Рівень блискавкозахисту (LPL) | Радіус сфери, що котиться (R, м) | Максимальна відстань між струмовідводами (м) |
|-------------------------------|----------------------------------|--|
| LPL I (Найвищий захист) | 20 | 10 |
| LPL II (Високий захист) | 30 | 15 |
| LPL III (Середній захист) | 45 | 20 |
| LPL IV (Базовий захист) | 60 | 20 |

Для визначення необхідної кількості доземних провідників при облаштуванні СБЗ, слід обчислити периметр будівлі і поділити отримане значення на середню відстань між провідниками, яка встановлена в таблиці 2.2 відповідно до класу LPS [15].

Кожен ESEAT-приймач у складі неізолюваної системи ESES мусить бути підключений до щонайменше двох низхідних провідників; з метою кращого розсіювання струму обидва шляхи до землі рекомендується розташовувати на

різних фасадах.

У випадку, коли на одній будівлі розташована велика кількість ESEAT, доземні провідники можна об'єднати, якщо нормативне значення відстані для всієї системи це дозволяє; таким чином, якщо на даху є n ESEAT, не є обов'язковим монтаж $2n$ провідників, але необхідно мати мінімум n конкретних провідників (рис. 2.6).

Кожен ESEAT в ізольованій системі ESES повинен бути облаштований щонайменше одним струмовідводом.

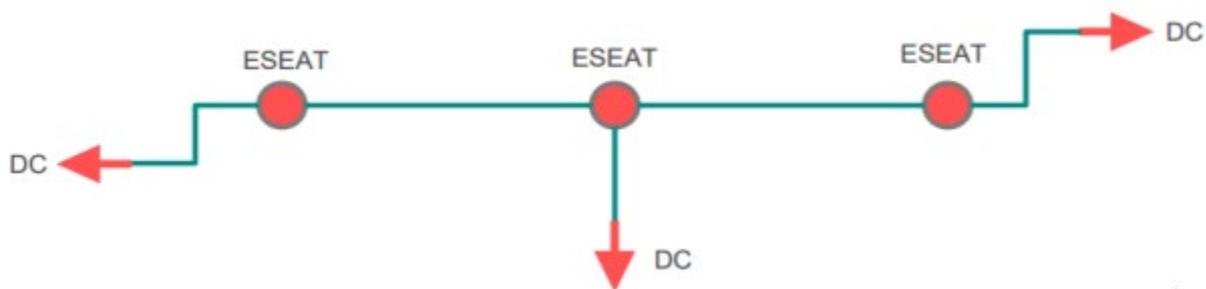


Рис. 2.6 - Приклад розташування доземного провідника (ДП) в системі ESEAT. [15]

2.4 Визначення параметрів заземлення

Розрахунок системи захисного заземлення здійснюється відповідно до вимог:[17].

Питомий опір ґрунту:

$$\rho = \frac{(\rho_1 \cdot k_1 \cdot \rho_2 \cdot L)}{(\rho_1 \cdot k_1 (L - H + t_{\text{стале}}) + \rho_2 (H - t_{\text{стале}}))}, \quad (2.3)$$

Опір вертикального заземлювача виготовленого з кутової сталі:

$$r_s = \frac{0,366\rho}{L} \left(\lg \frac{2L}{0,95b} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+L}{4t-L} \right), \quad (2.4)$$

Розрахункова кількість вертикальних заземлювачів:

$$n_{np} = \frac{r_g}{R_H \cdot \eta_g}, \quad (2.5)$$

Опір вертикальних заземлювачів:

$$R_g = \frac{r_g}{N \cdot \eta_g}, \quad (2.6)$$

Розрахункова довжина горизонтального заземлювача при розташуванні електродів у ряд:

$$l_z = (n_{np} - 1)h, \quad (2.7)$$

Опір горизонтального заземлювача з врахуванням коефіцієнта ефективності використання:

$$r_z = \frac{0,366k_2\rho_1}{l_z\eta_z} \cdot \lg \frac{l_z^2}{bt_{сигн}}, \quad (2.8)$$

Повний опір контуру заземлення:

$$R = \frac{R_g r_z}{r_z + R_g}, \quad (2.9)$$

2.5 Методи оцінки ефективності впровадження систем блискавкозахисту.

Різні економічні показники та методи використовуються з метою оцінки доцільності встановлення систем БЗ.

Невідповідність вимогам інвестора є ключовою проблемою під час оцінки ефективності капіталовкладень; раніше використовувалися статичні методи, головним недоліком яких є ігнорування чинника часу; недоцільно порівнювати проекти виключно за первинними інвестиціями, оскільки проєкт з меншими початковими вкладеннями, враховуючи всі витрати до кінця, може виявитися дорожчим, що знизить очікувану вигоду [5,24].

Показники економічної ефективності можна розділити на дві групи: статичні та динамічні; статичний метод використовують для оцінки ефективності проекту; оскільки показники цієї групи не враховують зміну вартості грошей з часом, їх рекомендується застосовувати на початкових етапах відбору та оцінки інвестиційних проектів [15].

Для порівняння ефективності інвестиційних показників використовуються два основні підходи:

1. Метод розрахунку періоду окупності інвестицій.
2. Метод визначення рентабельності інвестицій.

Період окупності (PP) є ключовим економічним показником, що визначає час, необхідний для повного повернення початкових вкладень за рахунок економії або доходів, отриманих від реалізації проекту.

$$PP = \sum_{t=1}^n CF_t \geq I_0, \quad (2.10)$$

де CF – грошові потоки, I_0 – початкові інвестиції, n – кількість періодів окупності проекту.

NPV (Net Present Value) – це сукупна чиста економія за весь розрахунковий період з урахуванням зміни вартості грошей у часі. Показник враховує витрати протягом усього життєвого циклу проекту:[15].

$$NPV = -Inv + \sum_{i=1}^n \frac{(E_i - C_i)}{(1+r)^i}, \quad (2.11)$$

де n – тривалість періоду в роках; i – поточний рік; Inv – інвестиції у проект; EI – економія за період; CI – поточні витрати за період; r – ставка дисконту.

Якщо $NPV > 0$, грошові надходження проекту за певний період покрили інвестиції та поточні витрати.

Якщо $NPV = 0$, проект лише покрив інвестиції та поточні витрати і забезпечив мінімальний очікуваний дохід.

Якщо $NPV < 0$, проект у розглянутому періоді не приніс навіть мінімального доходу, передбаченого ставкою дисконту, i , можливо, не покрив інвестиції та поточні витрати.

Перевага NPV полягає в тому, що розрахунок базується на грошових потоках, а не на чистому прибутку. Ефективність основного проекту можна оцінити шляхом сумування NPV його окремих підпроектів.

Серед недоліків NPV – необхідність детального прогнозування грошових потоків на весь життєвий цикл проекту та припущення про незмінність ставки дисконту протягом цього періоду.

Для порівняння кількох проектів із близькими значеннями NPV доцільно використовувати індекс рентабельності (Profitability Index – PI). PI є інструментом прийняття рішень, який дозволяє оцінити доцільність продовження проекту. Він відображає потенційний прибуток проекту і розраховується як відношення теперішньої вартості майбутніх грошових потоків, що генеруються проектом, до його початкових інвестицій [15,26].

$$PI = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{B_i}{(1+r)^i}}{I_0} = \frac{NPV}{I_0}, \quad (2.12)$$

де B – чистий дохід у i -му році;

n – кількість періодів експлуатації проекту;

I_0 – інвестиції у проект;

r – ставка дисконту.

Індекс прибутковості (PI) оцінюється за такими критеріями:

$PI > 1$ – проект варто продовжувати;

$PI < 1$ – від проекту слід відмовитися;

$PI = 1$ – проект є беззбитковим [15].

До переваг зазначеного методу належать: простота використання, змога раціонально вибрати інвестиційний об'єкт при обмежених коштах, облік часового чинника, можливість точно визначати збільшення вартості активів у більшості ситуацій, використання всіх грошових надходжень проекту для

розрахунків, а також гнучкість у застосуванні різних рівнів ціни капіталу при обчисленні [15,28].

До недоліків цього методу належать: можливість отримання неправильного результату при виборі одного із взаємовиключних проєктів (в такому разі краще застосовувати метод чистої сучасної вартості — ЧСВ); необхідність залучення лише підготовленого персоналу для складання, розрахунків та аналізу; складність в отриманні даних для всього періоду реалізації проєкту; а також те, що показник застосовується лише тоді, коли інвестиційний проєкт може бути реалізований частинами (розділений) [20,24].

Рентабельність інвестиційного проєкту (ARR, Accounting Rate of Return) – це показник прибутковості об’єкта інвестування без урахування дисконтування, який застосовується для порівняння різних альтернативних інвестиційних проєктів. За допомогою цього показника можна оцінювати існуючі проєкти та статистично визначати ефективність формування грошового потоку від інвестицій.

$$ARR = \frac{PN}{\frac{1}{2} \cdot (I + RI)}, \quad (2.13)$$

де PN – середньорічний прибуток об’єкта інвестицій за період;

I – інвестиції;

RI – ліквідаційна вартість. [15,27].

Вищезазначене дозволяє зробити висновок про простоту розрахунку як перевагу статичних показників, тоді як складність прогнозування майбутніх грошових надходжень та доходів від реалізації проєкту можна віднести до їхніх недоліків.

Динамічні показники, які можна отримати, використовуючи значення результатів протягом усього терміну проєкту, враховують фактор часу; при їхньому розрахунку застосовується дисконтування, а важливим етапом методу є правильне визначення ставки дисконту.

Виділяють показники рентабельності:

Таблиця 2.3. Показники рентабельності

| Характеристик а | Benefit-to-Cost Ratio (BCR) | Savings-to-Investment Ratio (SIR) |
|--------------------|---|---|
| Повна назва | Коефіцієнт вигоди до витрат | Коефіцієнт заощаджень до інвестицій |
| Сутність | Співвідношення загальних вигод (доходів, прибутків) до загальних витрат проекту. | Співвідношення загальних заощаджень (зменшення витрат) до інвестиційних витрат. |
| Формула | $BCR = \frac{\text{Поточна вартість (ПВ) Вигод}}{\text{Поточна вартість (ПВ) Витрат}}$ | $SIR = \frac{\text{Поточна вартість (ПВ) Заощаджень}}{\text{Поточна вартість (ПВ) Інвестицій}}$ |
| Застосування | Універсальне: проекти, що генерують прямі грошові потоки (дохід) або оцінка загальносуспільних вигод (наприклад, інфраструктура). | Найчастіше для проектів, основний ефект яких – зниження експлуатаційних витрат (енергоефективність, оптимізація систем). |
| Ключовий показник | ВигодиBenefits | ЗаощадженняSavings |
| Критерій прийняття | Якщо $BCR > 1$, проект вважається економічно вигідним (вигоди перевищують витрати). | Якщо $SIR > 1$, проект вважається економічно вигідним (заощадження перевищують інвестиції). |
| Зв'язок між ними | SIR часто є варіацією BCR, яка використовується, коли вигоди представлені виключно у формі скорочення витрат (заощаджень). | SIR є спеціалізованим інструментом для оцінки економічної ефективності, особливо в галузі будівельних систем та енергозбереження. |

Benefit-to-Cost Ratio (BCR) та Savings-to-Investment Ratio (SIR) – це коефіцієнти, що відображають економічну ефективність інвестицій.

BCR – коефіцієнт, який застосовується для аналізу співвідношення витрат і вигод, узагальнюючи взаємозв'язок між відносними витратами та очікуваними вигодами від проекту. Він розраховується як відношення вигод, за вирахуванням майбутніх неінвестиційних витрат, до інвестиційних витрат. Критерій BCR дозволяє оцінити, наскільки можна збільшити витрати, не роблячи проект економічно невигідним.

$$BCR = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{B_i}{(1+r)^i}}{\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^i}}, \quad (2.14)$$

Коефіцієнт вигоди до витрат (BCR) визначається як відношення Витрат (В) до Вигод (С).

Якщо $BCR > 1.0$, очікується, що проект забезпечить позитивну чисту поточну вартість (Net Present Value), що є вигідним для фірми та інвесторів.

Якщо $BCR < 1.0$, витрати перевищують вигоди, і проект вважається економічно недоцільним.

Недоліком цих методів є те, що вони ігнорують грошові потоки, які виникають після закінчення періоду окупності.

Висновки до розділу

У розділі здійснено детальний аналіз особливостей формування зон захисту для різних методів блискавкоприймання, зокрема методу блискавкоприймальної сітки та методу захисного кута, що традиційно застосовується на плоских покрівлях за участю вертикальних стрижневих приймачів. Особливу увагу приділено новітньому підходу — методу ESEAT-систем, у якому зона захисту визначається за принципом радіального розширення. Аналіз цього методу доповнює наявні моделі й дозволяє порівняти його ефективність із класичними рішеннями.

З огляду на нормативні вимоги щодо обов'язкового забезпечення блискавкозахисту для всіх категорій об'єктів, постає питання оптимізації витрат на проектування та монтаж таких систем. У межах дослідження розроблено методологію порівняння економічних показників різних типів блискавкоприймачів, що дає змогу об'єктивно визначити найбільш рентабельне рішення для конкретних умов експлуатації.

Отримані результати забезпечують практичне підґрунтя для вибору оптимальної системи блискавкозахисту та сприяють підвищенню її ефективності й економічної доцільності.

РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ БЛИСКАВКОПРИЙМАЧІВ

3.1. Розрахунок зони блискавкозахисту із класичним блискавкоприймачем

До класичних способів блискавкозахисту належать: монтаж вертикальних струмовідводів по периметру стін (на відстані 15 м) та на виступаючих елементах будівлі; організація захисного заземлення; і здійснення вирівнювання потенціалу.

В якості блискавкоприймача використано природний елемент – покрівельне покриття зі сталевих фальцу товщиною 0,5 мм, рекомендоване у табл. 4 СТБ П ІЕС 62305-3:2006/2010.

Для забезпечення безперервного електричного з'єднання сталевих листів використовуються такі методи: паяння, фальцювання, гофрування, зварювання або болтове з'єднання.

Окрім природного блискавкоприймача, застосовано шість вертикальних блискавкоприймачів загальною висотою $H = 7,0$ м. Відповідно до п. 2.1, радіус захисної зони при висоті покрівлі 15,64 м становить: $R_1 = 8,45$ м (до рівня підлоги 1-го поверху) та $R_2 = 6,148$ м (до рівня повітряної установки). За рисунком 2.3, захисний кут для III класу LPS дорівнює 45° . Крім того, використано метод блискавкоприймальної сітки, при цьому розмір комірок повинен бути $15,0 \times 15,0$ м згідно з табл. 2.1 для III класу LPS [7,8].

Сформуємо модель системи класичного блискавкозахисту, подану на Рис. 3.1.

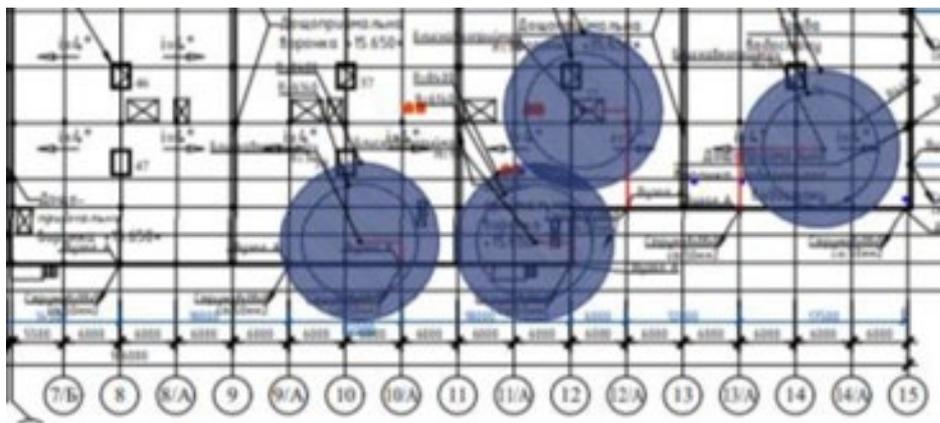


Рис. 3.1 - Блискавкозахист із класичними блискавкоприймачами

Як струмопровідні елементи використовується катанка перерізом 50 мм^2 . На Рис. 3.2 наведено приклад виконання вузлового з'єднання струмопровідної системи.

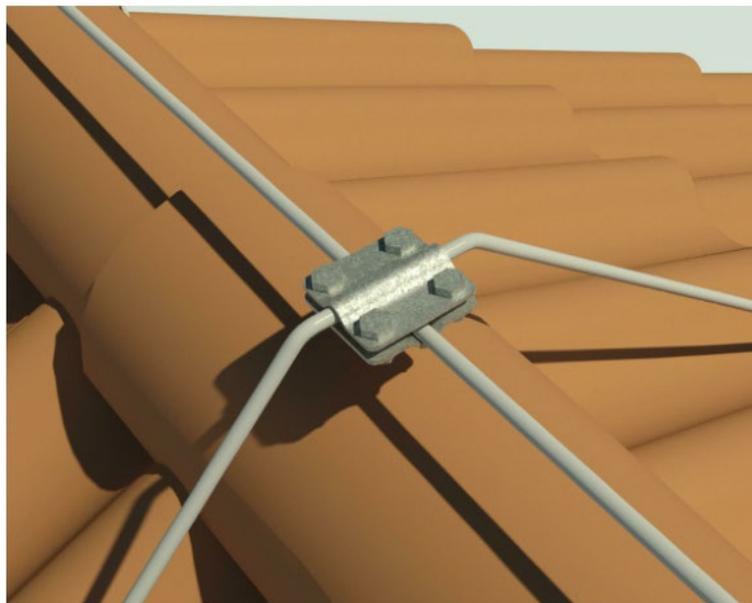


Рис. 3.2 – Приклад вузлового з'єднання блискавкозахисту

Склад вузла влаштування вертикального блискавкоприймача М-01 наведено у таблиці 3.1 [11]:

Таблиця 3.1 - Склад влаштування вертикального блискавкоприймача М-01

| № | Назва | Артикул |
|---|---|------------------|
| | Блискавкоприймач з кріпленням | М-01/15: 1=1.5 н |
| 1 | - шпиль блискавкоприймача $d = 10mm, L = 1m$ | |
| 2 | - шпиль блискавкоприймача $d = 16mm, L = 1m$ | |
| 3 | - тримач блискавкоприймача М-016 (2 шт) | |
| А | - злучник для шпильки $\Phi 16mm$ та дроту | |
| | Тримач дроту металевий РІ.Р з дюбелем | Н-032 |
| | Дріт алюмінієвий 08 мм | W-08/A1 |

Склад вузла оземного провідника зі смугою уземлення наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Склад вузла доземного провідника зі смугою уземлення

| № | Назва | Артикул |
|---|---------------------------------------|-----------|
| 1 | Злучник контрольний | С-032 |
| 2 | Дріт алюмінієвий 08 мм | W-08/AL |
| 3 | Смуга оцинкована 25x4 мм | W-25x4/ST |
| 4 | Тримач смуги металевий FLIP з дюбелем | Н-037 |
| 5 | Антикорозійна стрічка, 10 м (0,1 шт) | G-115 |

Склад схема влаштування подвійного модульного уземлювача наведено у таблиці 3.3:

Таблиця 3.3 - Склад вузла влаштування подвійного модульного уземлювача.

| № | Назва | Артикул |
|-----|---|------------------|
| 1 | Комплект стержневого уземлювача 0,20 мм | 0-20/45: l=4,5 м |
| 1.1 | - 0-20/1 стержень уземлення 0,20 l=1500 | |
| 1.2 | - 0-20/2 наконечник для стержня 0,18мм | |
| 1.3 | - С-044 злучник для стержня та смуги | |
| 2 | Смуга уземлення 25x4 мм (40x4 мм) | М-25,0x4/5,0Т |

Для забезпечення захисту будівлі логістичного центру передбачено створення зони захисту за допомогою двох блискавкоприймачів, оснащених системою раннього випуску стримера. Відповідно до формули (2.1) виконано розрахунок параметрів захисних зон.

Далі проведено моделювання зон захисту, утворених двома блискавкоприймачами з ESE-системою (рис. 3.3).

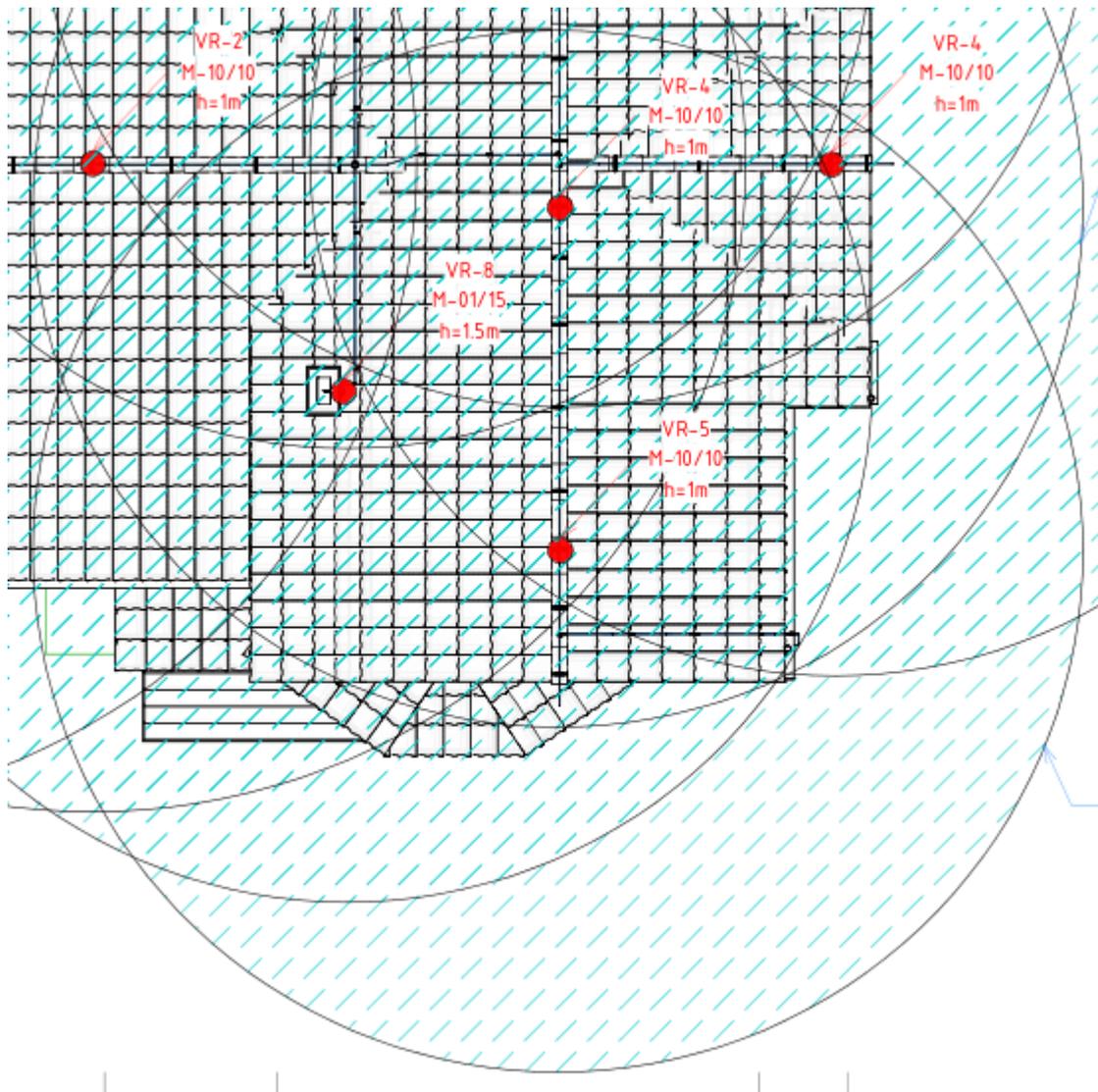


Рис. 3.3 – Зона захисту блискавкозахисту

Як струмопровід використовують сталевий дріт перерізом 50 мм^2 . Загальна кількість струмопроводів становить два вузли. Вузлове з'єднання виконується за принципом класичної системи блискавкозахисту, що показано на Рис. 3.2.

3.2. Проектування заземлення блискавкозахисту

Для заземлювача обрано проєктний контур заземлення, який розташовано по периметру будівлі на відстані $1,0 \text{ м}$ від неї та на глибині $0,5 \text{ м}$; контур заземлення складається з горизонтальних заземлювачів (сталеві смуги $4 \times 30 \text{ мм}$) та вертикальних заземлювачів (кругла сталь діаметром $17,2 \text{ мм}$); для його облаштування розроблено траншею шириною 300 мм та глибиною 500 мм

; проведемо розрахунок питомого опору ґрунту для систем блискавкозахисту за формулою (2.3) та таблицею 3.4 [4,8,17].

Таблиця 3.4 - Питомий опір ґрунту

| Позначення | Найменування | Од. вим. | Значення |
|------------|--|----------|-------------|
| Γ_1 | Питомий опір верхнього шару ґрунту (будівельне сміття) | Ом*м | 400,0-500,0 |
| Γ_2 | Питомий опір нижнього шару ґрунту (суглинок) | Ом*м | 85,0-100 |
| k_l | Коефіцієнт сезонності для вертикальних заземлювачів (зона) | | 1,35-1,5 |
| L | Довжина вертикального заземлювача | м | 2,50 |
| H | Товщина верхнього шару ґрунту | м | 0,20 |
| $смуги$ | Глибина закладення верху вертикального заземлювача | м | 0,50 |

$$r = 78,484 \text{ Ом*м}$$

Опір одного вертикального заземлювача, виготовленого з круглої сталевий заготовки, визначається за формулою (2.4). Відповідні розрахункові значення наведено у таблиці 3.5 «Параметри вертикального заземлювача».

Таблиця 3.5 - Параметри вертикального заземлювача

| Позначення | Найменування | Од. вим. | Значення |
|------------|---|----------|----------|
| d | Зовнішній діаметр заземлювача | мм | 17,24 |
| t | Глибина закладення (від поверхні землі до середини ділянки заземлювача) | м | 1,4 |

$$r_{\text{в}} = 24,230 \text{ Ом} < 30,0 \text{ Ом}$$

Кількість вертикальних заземлювачів, необхідних для забезпечення нормативного значення опору класичної системи блискавкозахисту, обчислено згідно з формулою (2.5). Результати розрахунку наведено в таблиці 3.6:

Таблиця 3.6 - Кількості вертикальних заземлювачів

| Позначення | Найменування | Од. вим. | Значення |
|------------|---|----------|----------|
| R_H | Нормований опір розтіканню струму в землю | Ом | 4,0 |
| he | Коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів | | 0,80 |

$P_{np} = 12,60$ шт.

Приймаємо 12 шт.

Запланована кількість вертикальних заземлювачів для системи ESAT становить 8 одиниць.

Опір вертикальних заземлювачів, визначений з урахуванням коефіцієнта використання згідно з формулою (2.6) (табл. 3.7):

Таблиця 3.7 - Величина опору заземлення, розрахована з урахуванням коефіцієнта використання.

| Позначення | Найменування | Од. вим. | Значення |
|------------|---|----------|----------|
| r_v | Опір одного вертикального заземлювача | Ом | 23,4 |
| N | Кількість вертикальних електродів | шт | 12 |
| he | Коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів | | 0,58 |

$R_e = 4,99$ Ом

Розрахункова довжина горизонтального заземлювача при розміщенні електродів по контуру відповідно до формули (2.7) (табл. 3.8):

Таблиця 3.8 - Величина розрахункової довжини горизонтального заземлювача.

| Позначення | Найменування | Од. вим. | Значення |
|------------|--------------------------|----------|----------|
| h | Відстань між електродами | м | 56,17 |

$l_z = 674,04$ м

Повний опір заземлювального контуру, розрахований із урахуванням коефіцієнтів використання заземлювачів за формулою (2.9), становить $R_z = 2,8$ Ом.

Для класичної системи блискавкозахисту передбачається встановлення 12 вертикальних заземлювачів, а для системи ESEAT необхідно змонтувати 6 вертикальні заземлювачі із круглої сталі діаметром 18,0 мм і довжиною 2 м, з'єднаних горизонтальним електродом зі смуги 30,00×4,00 мм. Відстань між заземлювачами становить 56,17м.

Висновок: значення опору $R_z < K_{доп}$ (2,8 Ом). Отже, розрахунок заземлювального контуру та системи блискавкозахисту виконано коректно для обох варіантів.

Заземлювальний пристрій виконано у вигляді системи з 12 вертикальних заземлювачів (сталь діаметром 16мм, довжиною 1,6 м), з'єднаних горизонтальним заземлювачем зі сталеві смуги 40 ×4мм. Глибина прокладання сталеві смуги та верхівок вертикальних електродів становить 0,5 м від поверхні ґрунту. Усі з'єднання виконані спеціальними з'єднувачами для стержнів та смуги (рис. 3.4).

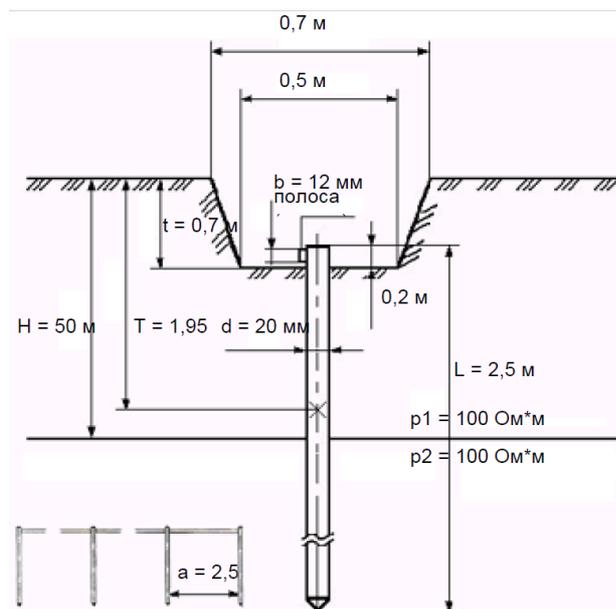


Рис. 3.4 – Схема вертикального заземлювача

Проведемо моделювання системи заземлення та системи зрівнювання потенціалів для обох варіантів блискавкозахисту (рис. 3.5).

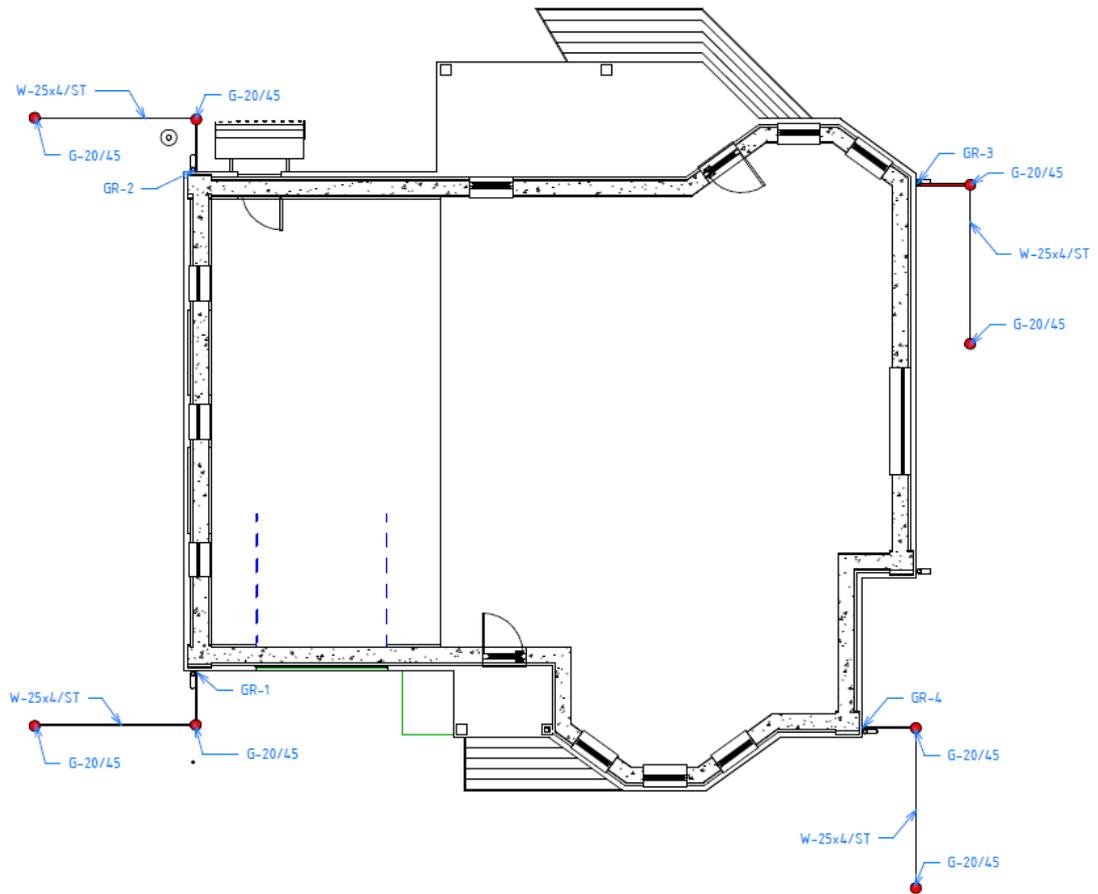


Рис. 3.5.- Система заземлення та система зрівнювання потенціалів

Equation Chapter 1 Section 3

3.3 Основні показники інвестиційного проекту за класичною системою блискавкозахисту

Таблиця 3.9- Базові показники інвестиційного проекту

| Показники | Роки | | | | | |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Інвестиції, грн | 300000 | 300000 | 300000 | 300000 | 300000 | 300000 |
| Відсоткова ставка, % | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Змінні витрати, грн | - | 15000 | 15000 | 15000 | 15000 | 15000 |
| Постійні витрати | - | 24210 | 24210 | 24210 | 24210 | 24210 |
| Всього витрат, грн | - | 24210 | 24210 | 24210 | 24210 | 24210 |
| Загальна вартість проекту грн | - | 528300 | 528300 | 528300 | 528300 | 528300 |

3.3.1 Оцінка ефективності проекту за показниками, заснованими на коефіцієнті дисконтування.

Визначаємо величину, обернену коефіцієнту дисконтування для кожного із років:

$$K_t = (1 + z)^t \quad (3.1)$$

де z – ставка дисконтування, %.

Таблиця 3.10- Коефіцієнти дисконтування при ставці дисконту 15%

| Рік | t | $(1+z)^t$ | дисконтний множник |
|------------|---|-----------|--------------------|
| 1-й рік K1 | 1 | 1,1500 | 0,870 |
| 2-й рік K2 | 2 | 1,3230 | 0,760 |
| 3-й рік K3 | 3 | 1,5210 | 0,660 |
| 4-й рік K4 | 4 | 1,7490 | 0,570 |
| 5-й рік K5 | 5 | 2,0110 | 0,500 |

Розраховуємо NPV:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{Ч_{ep.n.}}{K_t} - \left(I + \frac{I_t}{1+z} \right) \quad (3.2)$$

$$NPV = \left(\frac{528300}{1,150} + \frac{528300}{1,323} + \frac{528300}{1,521} + \frac{528300}{1,749} + \frac{528300}{2,011} \right) - \left(300000 + \frac{300000}{1,15} \right) = 785976$$

Таблиця 3.11- NPV при ставці дисконту 15 %.

| роки | чистий грошовий потік | $(1+z)^t$ | Диск. грошовий потік |
|-------------------------|-----------------------|-----------|----------------------|
| 1 | 528300 | 1,15 | 459391 |
| 2 | 528300 | 1,32 | 399471 |
| 3 | 528300 | 1,52 | 347366 |
| 4 | 528300 | 1,75 | 302057 |
| 5 | 528300 | 2,01 | 262658 |
| Сума диск. грош. потоку | | | 1770944 |

Розраховуємо індекс прибутковості (рентабельності) - РІ:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{NPV_t}{I + I_t} = \frac{1770943,538}{120000} = 1,48. \quad (3.3)$$

3.3.2. Розрахунок періоду окупності – РВР

Таблиця 3.12- Показники економічної ефективності проекту

| РОКИ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------------------------------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| Інвестиції, тис. грн | 300000,00 | 300000,00 | 300000,00 | 300000,00 | 0,00 | 0,00 |
| Чистий грошовий потік, тис. грн | 0,00 | 528300,00 | 528300,00 | 528300,00 | 528300,00 | 528300,00 |
| Коефіцієнт дисконтування | | 1,15 | 1,32 | 1,52 | 1,75 | 2,01 |
| Строк окупності | 0,00 | -525576,23 | -126105,53 | 221260,29 | 523317,53 | 785976,00 |

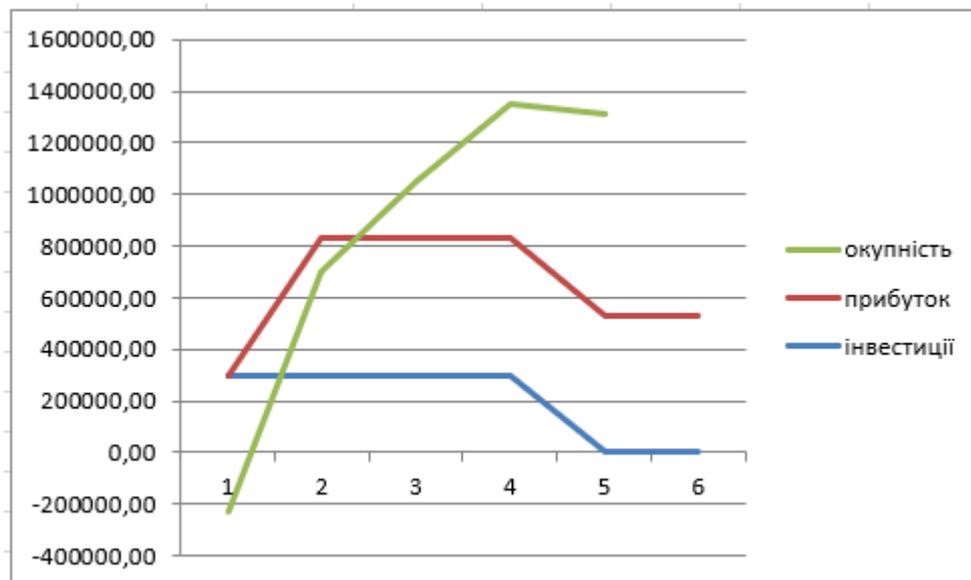


Рис.3.6-Графік періоду окупності проекту за 5 років.

Отже, дисконтовані інвестиції та грошовий потік (чисті грошові надходження) врівноважуються через 2,5 роки від початку використання проекту. Таким чином, період окупності проекту становить біля 3-х років. $NPV = 785976$ грн.

Індекс прибутковості $PI = 1,48$

3.4. Основні показники інвестиційного проекту системи з ESEAT-блискавкоприймачами

Таблиця 3.13- Базові показники інвестиційного проекту

| Показники | Роки | | | | | |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Інвестиції, грн | 100000 | 100000 | 100000 | | | |
| Відсоткова ставка, % | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Змінні витрати, грн | - | 15000 | 15000 | 15000 | 15000 | 15000 |
| Постійні витрати | - | 24210 | 24210 | 24210 | 24210 | 24210 |
| Всього витрат, грн | - | 24210 | 24210 | 24210 | 24210 | 24210 |
| Загальна вартість проекту грн | - | 264150 | 264150 | 264150 | 264150 | 264150 |

3.4.1. Оцінка ефективності проекту за показниками на коефіцієнті дисконтування.

Визначаємо величину, обернену коефіцієнту дисконтування для кожного із років:

$$K_t = (1 + z)^t \quad (3.4)$$

де z – ставка дисконтування, %.

Таблиця 3.14- Коефіцієнти дисконтування при ставці дисконту 15%

| Рік | t | $(1+z)^t$ | дисконтний множник |
|------------|---|-----------|--------------------|
| 1-й рік K1 | 1 | 1,1500 | 0,870 |
| 2-й рік K2 | 2 | 1,3230 | 0,760 |
| 3-й рік K3 | 3 | 1,5210 | 0,660 |
| 4-й рік K4 | 4 | 1,7490 | 0,570 |
| 5-й рік K5 | 5 | 2,0110 | 0,500 |

Розраховуємо NPV:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{Q_{sp.n.}}{K_t} - \left(I + \frac{I_t}{1+z} \right) \quad (3.5)$$

$$NPV = \left(\frac{264150}{1,150} + \frac{264150}{1,323} + \frac{264150}{1,521} + \frac{264150}{1,749} + \frac{264150}{2,011} \right) - \left(100000 + \frac{100000}{1,15} \right) = 557149$$

Таблиця 3.15- NPV при ставці дисконту 15 %.

| роки | чистий грошовий потік | $(1+z)^t$ | Диск. грошовий потік |
|-------------------------|-----------------------|-----------|----------------------|
| 1 | 264150 | 1,15 | 229696 |
| 2 | 264150 | 1,32 | 199735 |
| 3 | 264150 | 1,52 | 173683 |
| 4 | 264150 | 1,75 | 151029 |
| 5 | 264150 | 2,01 | 131329 |
| Сума диск. грош. потоку | | | 885472 |

Розраховуємо індекс прибутковості (рентабельності) - PI:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{NPV_t}{I + I_t} = \frac{885471,7691}{400000} = 2,21. \quad (3.6)$$

3.4.2. Розрахунок періоду окупності – РВР

Таблиця 3.16- Показники економічної ефективності проекту

| РОКИ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Інвестиції, тис. грн | 100000,00 | 100000,00 | 100000,00 | 100000,00 | 0,00 | 0,00 |
| Чистий грошовий потік, тис. грн | 0,00 | 264150,00 | 264150,00 | 264150,00 | 264150,00 | 264150,00 |
| Коефіцієнт дисконтування | | 1,15 | 1,32 | 1,52 | 1,75 | 2,01 |
| Строк окупності | 0,00 | -98626,86 | 101108,49 | 274791,40 | 425820,02 | 557149,26 |

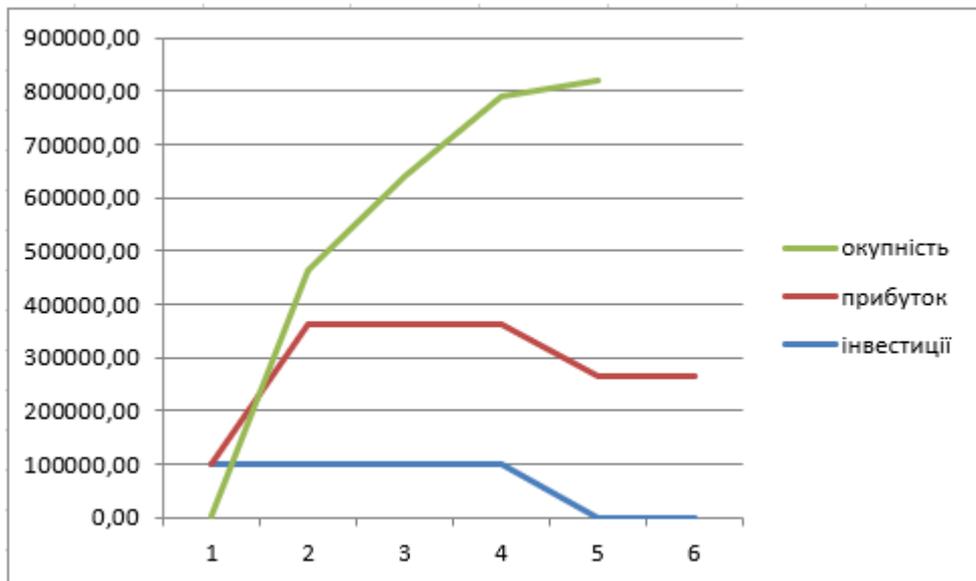


Рис.3.7-Графік періоду окупності проекту за 5 років.

Отже, дисконтовані інвестиції та грошовий потік (чисті грошові надходження) зрівноважуються через 1,3 роки від початку використання проекту. Таким чином, період окупності проекту становить біля 1,5-х роки. NPV = 557149 грн.

Індекс прибутковості PI=2,21

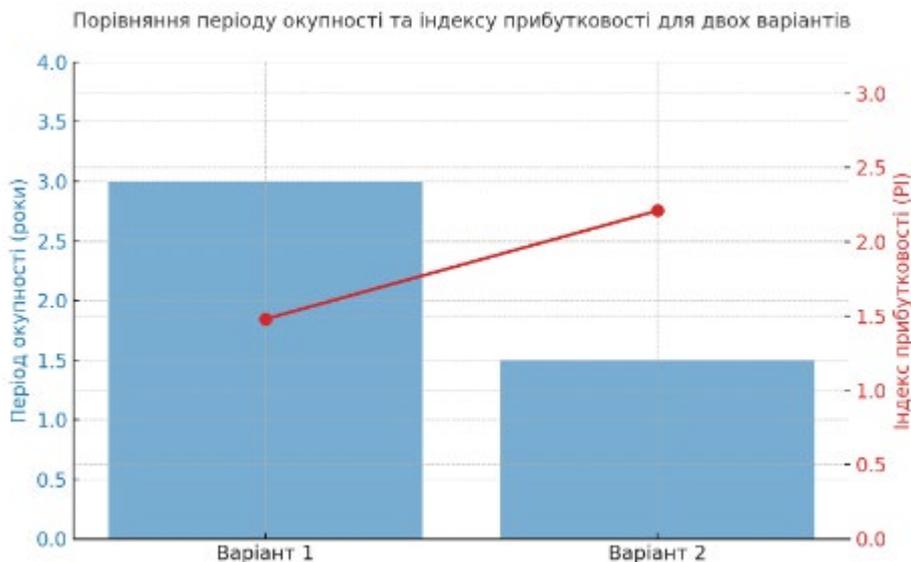


Рис. 3.8. - Діаграма порівняння двох варіантів:

Варіант 1. - Основні показники інвестиційного проекту за класичною системою блискавкозахисту.

Варіант 2. - Основні показники інвестиційного проекту системи з ESEAT-блискавкоприймачами.

- Сині стовпчики показують період окупності (роки).
- Червона лінія з маркерами відображає індекс прибутковості (PI).

Порівняння двох варіантів проекту показало, що Варіант 2 забезпечує швидший період окупності (близько 1,5 років проти 3 років у Варіанті 1) та значно вищий індекс прибутковості (2,21 проти 1,48). Швидкість повернення інвестицій і ефективність використання коштів роблять Варіант 2 більш привабливим для реалізації. Отже, з точки зору економічної доцільності та рентабельності, Варіант 2 є оптимальним вибором.

Висновки до розділу

Захист від блискавки логістичного центру розроблено на основі двох систем: класичної (із застосуванням сітчастого методу, типового для плоских дахів) та вертикальних блискавкоприймачів; розрахунки для обох систем БЗ виконані з урахуванням LPL III, а розміри комірок сітки відповідають значенням, визначеним у таблиці 2.1.

Встановлено, що захисні зони обох систем суттєво відрізняються: два ESEAT-блискавкоприймачі забезпечують радіус захисної зони 102,18 м, що достатньо для захисту будівлі та прилеглої території від ПУБ, в той час, як класична система БЗ з вертикальними блискавкоприймачами формує локальну захисну зону з радіусом лише 8,4 м для кожного.

Порівняння двох варіантів проекту показало, що Варіант 2 забезпечує швидший період окупності (близько 1,5 років проти 3 років у Варіанті 1) та значно вищий індекс прибутковості (2,21 проти 1,48). Хоча NPV Варіанту 1 дещо більше, швидкість повернення інвестицій і ефективність використання коштів роблять Варіант 2 більш привабливим для реалізації. Отже, з точки зору економічної доцільності та рентабельності, Варіант 2 є оптимальним вибором.

ВИСНОВКИ

Проведений аналіз і порівняння двох підходів до блискавкозахисту — класичної системи (на основі IEC 62305) та ESEAT-системи (на основі NFC 17-102) — підтвердили, що обидві системи є ефективними, але мають суттєві відмінності у принципах проектування, складності монтажу та економічній доцільності. Класична система використовує пасивні приймачі (стрижні, сітки) та залучає три методи розрахунку зони захисту (рухомої сфери, захисного кута, сітки), що ускладнює проектування. Натомість, ESEAT-система базується на активному ESE-блискавковідводі та спрощує розрахунок захисної площі до одного методу (захисного радіусу).

ESE-система вимагає значно меншої кількості блискавковідводів і доземних провідників завдяки збільшеному ефективному радіусу захисту, що спрощує монтаж, обслуговування та покращує естетичний вигляд будівлі.

Розрахунки довели, що ESEAT-система є економічно вигіднішою, особливо для великоплощинних будівель із LPL III. Загальна вартість її установки (LPS) може бути суттєво нижчою (до десятої частини від звичайної БЗ) порівняно з класичними проектними рішеннями.

Зіставлення економічних показників підтвердило, що проект ESEAT-системи є вигіднішим за класичну систему, оскільки чистий приведений дохід (NPV) при їхньому зіставленні є позитивним на користь ESEAT.

Аналіз інвестиційних варіантів показав, що Варіант 2 є оптимальним: він забезпечує швидший період окупності (близько 1,5 років) порівняно з Варіантом 1 (3 роки) та значно вищий індекс прибутковості (2,21 проти 1,48).

Інвестиційний проект із впровадження ESEAT-системи є оптимальним вибором з огляду на його економічну ефективність, швидку окупність та простоту реалізації порівняно з класичною системою блискавкозахисту. За умови збереження заявлених характеристик захисту, ESEAT-технологія є більш рентабельною альтернативою класичним підходам у майбутньому.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ EN 62305-1:2012 Захист від блискавки. Частина 1. Загальні принципи (EN 62305-1:2012, IDT). Наказом Мінекономрозвитку від 28.05.2012 р. [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <http://document.ua/zahist-vid-bliskavki-chastina-1-zagalni-principi-en-62305--nor14702.html>
2. ДСТУ EN 62305-3:2012. Захист від блискавки. Частина 3. Фізичні пошкодження конструкцій і небезпека для життя (EN 62305-3:2011, IDT). Київ : Мінекономрозвитку України, 2012. 147 с. (Національний стандарт України).
3. ДСТУ EN 62305-4:2012. Захист від блискавки. Частина 4. Електричні та електронні системи, розташовані в конструкціях (EN 62305-4:2011, IDT). Київ : Мінекономрозвитку України, 2012. 119 с. (Національний стандарт України).
4. ДСТУ Б В.2.5-38:2008 Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд (IEC 62305:2006, NEQ) Наказ від 27.06.2008 № 269 Про прийняття національного стандарту дата скасування дії 01.11.2019 [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id doc=40238>
5. Саєнко В. І., Саєнко Ю. І. Аналіз ефективності блискавкозахисту за методом рухомої сфери для складних архітектурних форм. *Енергетика та електрифікація*. 2021. № 10. С. 45–51. DOI: 10.33160/1993-4171.2021.10.045
6. Кузубова С. І. Порівняльний аналіз класичних та активних систем блискавкозахисту в контексті європейських норм. *Проблеми електроенергетики*. 2019. Т. 9, № 2. С. 88–95.
7. Коваленко О. П. Використання природних блискавкоприймачів при проектуванні захисту промислових об'єктів. *Технічна електродинаміка*. 2020. № 4. С. 60–67.

8. Мельник Р. Л., Іваницький Д. С. Оптимізація розміщення стрижневих блискавкоприймачів для підвищення зони захисту. *Наукові праці НУХТ*. 2022. Т. 28, № 1. С. 134–140.
9. Ляшенко В. О. Особливості монтажу сітчастого блискавкоприймача на дахах з інверсійною покрівлею. *Безпека життєдіяльності*. 2018. № 3. С. 31–36.
10. Попов Г. Б., Скляренко В. І. Моделювання перехідних процесів у системі блискавкозахисту при застосуванні ізольованих блискавкоприймачів. *Електричні мережі та системи*. 2023. № 5. С. 112–120. DOI: 10.51888/2023.5.112
11. Григоренко М. С. Вибір матеріалів для блискавкоприймальної сітки з урахуванням корозійної стійкості. *Будівельні конструкції та інженерія*. 2017. № 6. С. 78–84.
12. Воронюк А. К., Приймак І. В. Дослідження впливу форми блискавкоприймача на ефективність перехоплення блискавки. *Вісник ХНУ. Серія "Технічні науки"*. 2024. Т. 15, № 2. С. 45–55.
13. Демчук П. І. Порівняння вартості улаштування стрижневого та тросового блискавкоприймачів на висотних об'єктах. *Економіка будівництва*. 2016. № 1. С. 101–108.
14. Єрмоленко С. А. Застосування методу захисного кута для блискавкозахисту антенно-щоглових споруд. *Збірник наукових праць ДУТ*. 2020. № 58. С. 145–151.
15. Федоренко Л. М. Розрахунок мінімально допустимого перерізу блискавкоприймача з міді згідно з EN 62305. *Енергозбереження та Retrenko, D. I. Optimal height selection for single lightning rod protection. Energy Systems Research*. 2018. Vol. 11, No. 3. P. 201–208.
16. Афанасьєв Г. П. Електромагнітна сумісність та блискавкозахист: монографія. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2020. С. 210–245.
17. Баранов В. Ю., Мірошніченко С. Д. Розрахунок відстаней між струмовідводами в залежності від рівня захисту. *Енергетика та*

- автоматизація*. 2021. № 2. С. 40–47.
18. Chen, L., Yang, S. Application of catenary wire lightning protection system for large outdoor facilities. *High Voltage Engineering*. 2023. Vol. 49, No. 5. P. 1950–1959. DOI: 10.13336/j.1003-6520.hve.20230206013
 19. Smith, J. R., Davies, A. Material selection criteria for air termination systems in maritime environment. *Materials Science and Engineering*. 2016. Vol. 104. P. 012005. DOI: 10.1088/1757-899X/104/1/012005
 20. Ковальчук П. А. Забезпечення захисту медичних установ: особливості застосування блискавкоприймачів. *Медичні технології*. 2024. № 1. С. 55–58.
 21. Rakov, V. A. Lightning Protection of Structures and Buildings: Updated Review of IEC 62305 Standards. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*. 2018. Vol. 60, No. 3. P. 621–630. DOI: 10.1109/TEMC.2017.2769430
 22. Mardiana, R., Suardana, P., Ardy, I. Performance analysis of rolling sphere method for complex structure lightning protection system design. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. Vol. 981, No. 1. P. 012002. DOI: 10.1088/1755-1315/981/1/012002
 23. Al-Hussain, A. M., El-Saadawi, M. M. Comparison of lightning protection methods (rolling sphere, collection volume, and early streamer emission) based on reliability and cost. *Electric Power Systems Research*. 2020. Vol. 182. P. 106202. DOI: 10.1016/j.epsr.2020.106202
 24. Moa, M., Muli, G., Kirimi, P. Evaluation of Different Air Termination System Designs for Improved Lightning Protection of Tall Structures. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*. 2023. Vol. 13, No. 4. P. 4084–4092. DOI: 10.11591/ijece.v13i4.pp4084-4092
 25. Saba, M. M., El-Araby, E. M. Optimization of air-termination system design based on risk assessment according to IEC 62305-2. *Journal of Electrical Engineering & Technology*. 2019. Vol. 14, No. 1. P. 439–446. DOI: 10.1007/s42835-018-00043-3
 26. Gumede, M. P. Analysis of lightning protection using Faraday cage and rolling

- sphere method in substation. *AIP Conference Proceedings*. 2021. Vol. 2331, No. 1. P. 050002. DOI: 10.1063/5.0044565
27. Popescu, R., Toba, S. A review on the effectiveness of non-conventional lightning protection systems (ESE). *Annals of the University of Craiova - Electrical Engineering Series*. 2017. Vol. 41, No. 1. P. 59–64.
28. Wang, G., Chen, H., Zhang, X. Study on the effect of lightning rod height on lightning protection zone of isolated structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2023. Vol. 1308, No. 1. P. 012053. DOI: 10.1088/1757-899X/1308/1/012053