

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

**ПРОЄКТУВАННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ
БЛИСКАВКОЗАХИСТУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ
ПІДСТАНЦІЙ**

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕСМ-23мс
Спеціальності 141 –
«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»
за ОП «Електричні системи та мережі»,
Архипов А. О.

Керівник: к.т.н., доц., доцентка каф.
ЕСС Собчук.Н.В.

« 04.06. » 2025 р.

Рецензент: доц. каф. ЕСЕМ, к.т.н.
(наук. ступінь, вч. звання, назва кафедри)

Бабенко Р. В.
« 09.06. » 2025 р.

Допущено до захисту
завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В.О.

« 06. » червня 2025 р.

Вінниця ВНТУ 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій та систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) Галузь
знань – 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність – 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма – Електричні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., професор Комар В. О.

«20» квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Архипов Андрій Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. «Проектування та удосконалення системи блискавкозахисту
для підвищення надійності підстанцій»

Керівник роботи к.т.н., доц., доцента каф. ЕСС Собчук Н.В

затверджена наказом вищого навчального закладу від 20 березня 2025, #80

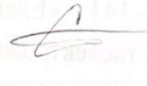
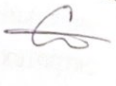
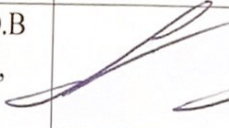
2. Термін подання студентом роботи 03 червня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: 1. ВРІ / Вакуумні вимикачі 10 кВ / Комутаційні апарати /
Продукція http://www.rzva.ua/ua/produkcija/komutacijni-aparati_1472639412/vakuumni-vimikachi-10-kv_1472639305/vr1_1472639255.htm 2. Електрообладнання розподільних установок. Оливні
вимикачі: навчальний посібник / П. Д. Лежнюк, В. Ц. Зелінський. Вінниця: ВНТУ, 2011.-86 с.

4. Зміст текстової частини: Вступ 1. Пристрої блискавкозахисту. 2. Захист від прямих
ударів блискавки. 3. Захист від вторинних дій блискавки. 4. Охорона праці. ВИСНОВКИ.
Список використаних джерел.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових
креслень) 1. Осцилограма струму блискавки. 2. Зона захисту одного стрижневого
блискавковідводу. 3. Зона захисту подвійного стрижневого блискавковідводу. 4. Зони
захисту від дії блискавки. 5. Типові схеми заземлювачів типу сітки. 6. Сітковий
заземлюючий пристрій будівлі.

6. Консультанти розділів роботи

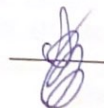
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Спеціальна частина	Керівник роботи Собчук Н.В. к.т.н., доц., доцент кафедри ЕСС	 20.03.25	 02.06.25
Охорона праці	Кобилянський О.В. д. пед. н., проф., завідувач каф.		

7. Дата видачі завдання 20 березня 2025

року КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

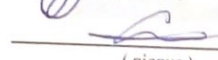
№ з/п	Назва та зміст етапів	Термін виконання етапів роботи		Примітки
		початок	кінець	
1	Формування та затвердження теми БДР	20.03.2025	21.03.2025	
2	Вступ. Огляд літературних джерел	22.03.2025	24.03.2025	
4	Дослідження системи блискавкозахисту для підвищення надійності підстанцій	01.04.2025	06.04.2025	
5	Методики розрахунку параметрів ЗП	19.04.2025	25.04.2025	
6	Виконання розділу охорона праці	26.04.2025	30.04.2025	
7	Формування висновків по роботі	01.05.2025	09.05.2025	
8	Оформлення пояснювальної записки	15.05.2025	20.05.2025	
9	Виконання графічної частини та оформлення презентації	21.05.2025	30.05.2025	
10	Перевірка БДР на плагіат. Попередній захист БДР	02.06.2025	05.06.2025	
11	Рецензування БДР	07.06.2025	09.06.2025	
	Захист БДР	10.06.2025	12.06.2025	

Студент


(підпис)

Архипов А

Керівник роботи


(підпис)

Собчук Н.В

АНОТАЦІЯ

Архипов Андрій Олександрович «Проектування та удосконалення системи блискавкозахисту для підвищення надійності підстанцій». Бакалаврська дипломна робота. – Вінниця: ВНТУ. 2025.– 82 с. Бібліогр.: 14. Іл.: 10. Табл.: 12.

Бакалаврська кваліфікаційна робота присвячена проектуванню та вдосконаленню системи блискавкозахисту для підвищення надійності функціонування електричних підстанцій. У роботі розглянуто вплив атмосферних перенапруг на елементи підстанцій, проаналізовано основні типи блискавкозахисту, їх переваги та недоліки. Обґрунтовано необхідність модернізації існуючих захисних рішень з урахуванням сучасних вимог до безпеки, експлуатаційної надійності та довговічності обладнання.

У процесі дослідження було проведено розрахунок параметрів блискавкоприймальної системи, визначено оптимальне розташування блискавковідводів та заземлювачів, а також здійснено моделювання захисної дії системи із застосуванням програмного забезпечення. Запропоновані технічні рішення спрямовані на зменшення ймовірності прямого ураження підстанцій блискавкою, зниження рівня перенапруг та підвищення електромагнітної сумісності обладнання.

Результати роботи можуть бути використані при проектуванні нових та реконструкції існуючих підстанцій для підвищення їх експлуатаційної надійності та безпеки в умовах зростання впливу кліматичних факторів на енергетичну інфраструктуру.

Ключові слова: блискавкозахист, електрична підстанція, атмосферні перенапруги, блискавковідвід, заземлення, електромагнітна сумісність, надійність, моделювання, проектування, система захисту.

ANNOTATION

Arkhipov Andrii Oleksandrovych. “Design and Improvement of Lightning Protection Systems to Enhance Substation Reliability.” Bachelor’s Thesis. – Vinnytsia: VNTU, 2020. – 82 p. References: 14. Illustrations: 10. Tables: 12.

The bachelor’s qualification thesis is devoted to the design and improvement of lightning protection systems aimed at enhancing the reliability of electrical substations. The paper examines the impact of atmospheric overvoltages on substation components and analyzes the main types of lightning protection, along with their advantages and disadvantages. The necessity of modernizing existing protection solutions is substantiated, taking into account current safety standards, operational reliability, and equipment durability requirements.

During the study, the parameters of the lightning protection system were calculated, the optimal placement of air-termination systems and grounding devices was determined, and the protective performance of the system was modeled using software tools. The proposed technical solutions are intended to reduce the probability of direct lightning strikes on substations, mitigate overvoltage levels, and improve electromagnetic compatibility of the equipment.

The results of this work can be applied in the design of new substations and the reconstruction of existing ones to improve their operational reliability and safety under increasing climatic stress on energy infrastructure.

Keywords: lightning protection, electrical substation, atmospheric overvoltages, air-termination system, grounding, electromagnetic compatibility, reliability, modeling, design, protection system.

Зміст

Вступ.....	6
1. ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУМІВ БЛИСКАВКОВИХ РОЗРЯДІВ	8
2 ЗАХИСТ ВІД ПРЯМОГО УДАРУ БЛИСКАВКИ.....	13
2.1. Система технічних засобів блискавкозахисту.....	13
2.2. Блискавкоприймачі	13
2.3. Струмовідводи та їх використання	16
2.4. Вибір типу блискавковідводу	18
3. ЗАХИСТ ВІД ВТОРИННИХ НАСЛІДКІВ БЛИСКАВКОВИХ РОЗРЯДІВ.....	36
3.1. Просторова класифікація зон захисту від блискавки	36
3.2. Екранування.....	38
3.3. З'єднання.....	40
3.4. Пристрої захисту від перенапруг та принципи з'єднання провідних елементів	42
3.5. Пристрої захисту від перенапруг	56
3.6. Захист обладнання в існуючих будинках	57
4. Охорона праці.....	63
Висновки.....	76
Література.....	77
Додатки	

Вступ

Актуальність теми З огляду на стрімке зростання кількості техногенних об'єктів, зокрема енергетичної інфраструктури, забезпечення надійного захисту електричних підстанцій від атмосферних впливів набуває критичного значення. Особливу небезпеку для об'єктів енергетики становлять блискавкові розряди, які можуть спричиняти значні технічні й економічні збитки через вихід з ладу обладнання, виникнення пожеж, порушення електропостачання та загрозу для життя людей.

Сучасні системи блискавкозахисту покликані не лише запобігати безпосередньому ураженню будівель і споруд блискавкою, але й мінімізувати вплив вторинних ефектів, таких як перенапруги, електромагнітні імпульси, іскріння всередині обладнання. Особливо це важливо для підстанцій, де встановлено чутливе до перенапруг електротехнічне та електронне устаткування.

Оскільки кліматичні зміни призводять до зростання частоти грозових явищ, актуальним стає удосконалення існуючих систем блискавкозахисту відповідно до сучасних технічних норм і стандартів. Удосконалення технічних рішень у сфері блискавкозахисту дозволяє підвищити рівень надійності та безпеки функціонування електроенергетичних об'єктів, зокрема підстанцій, що мають ключове значення для стабільного електропостачання населених пунктів і підприємств.

Таким чином, дослідження й розробка ефективної системи блискавкозахисту для підстанцій є на сьогодні надзвичайно актуальним завданням, що відповідає потребам підвищення надійності енергопостачання, збереження технічного ресурсу обладнання та зниження ризиків надзвичайних ситуацій.

Мета роботи Метою даної бакалаврської кваліфікаційної роботи є розроблення технічно обґрунтованих рішень щодо проєктування та вдосконалення системи блискавкозахисту для підвищення надійності

функціонування електричних підстанцій в умовах зростаючого ризику атмосферних перенапруг.

Задачі дослідження Для досягнення поставленої мети в межах дослідження необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати природу утворення блискавкових розрядів і їхній вплив на об'єкти енергетичної інфраструктури, зокрема підстанції.
2. Розглянути існуючі типи та елементи систем блискавкозахисту, з урахуванням сучасних нормативно-технічних вимог.
3. Виконати вибір і розрахунок параметрів блискавковідводів, струмовідводів і заземлювальних пристроїв для заданої конфігурації підстанції.
4. Розробити оптимальну схему розташування елементів системи блискавкозахисту з урахуванням конструктивних особливостей об'єкта.
5. Провести моделювання захисної дії обраної системи за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення.
6. Обґрунтувати технічну та економічну доцільність впровадження вдосконаленої системи блискавкозахисту.
7. Надати практичні рекомендації щодо підвищення рівня електромагнітної сумісності та безпеки експлуатації обладнання підстанції.

1. Характеристики струмів блискавкових розрядів

Стандартна форма імпульсу струму, що виникає при ураженні об'єкта блискавкою, зображена на рисунку 1.1. З позиції ефективного проєктування блискавкозахисту ключовим показником є значення амплітуди імпульсного струму блискавки, яке позначається як $I_{\text{БЛ}}$. У подальшому для зручності саме його будемо називати струмом блискавки.

Ще одним важливим параметром, що визначає рівень перенапруг в елементах, уражених блискавкою, є крутизна імпульсу, тобто темп зростання струму на фронті – позначається як $di_{\text{БЛ}}/dt$. Оскільки цей показник змінюється в різних ділянках фронту, за еталон зазвичай беруть його середнє значення, яке визначається за формулою: $I'_{\text{БЛ}} = I_{\text{БЛ}} / \tau_{\text{ф}}$, де $\tau_{\text{ф}}$ — тривалість фронту.

Цей часовий інтервал визначають за графіком, відмічаючи точки, де струм дорівнює 10% і 90% від максимальної амплітуди (тобто $0,1 \cdot I_{\text{БЛ}}$ і $0,9 \cdot I_{\text{БЛ}}$). Через ці точки проводиться пряма лінія, що перетинає вісь часу (нульовий рівень струму) та горизонталь, яка відповідає піковому значенню струму. Відстань по осі часу між цими перетинами і є тривалістю фронту $\tau_{\text{ф}}$ (див. рис. 1.1).[1].

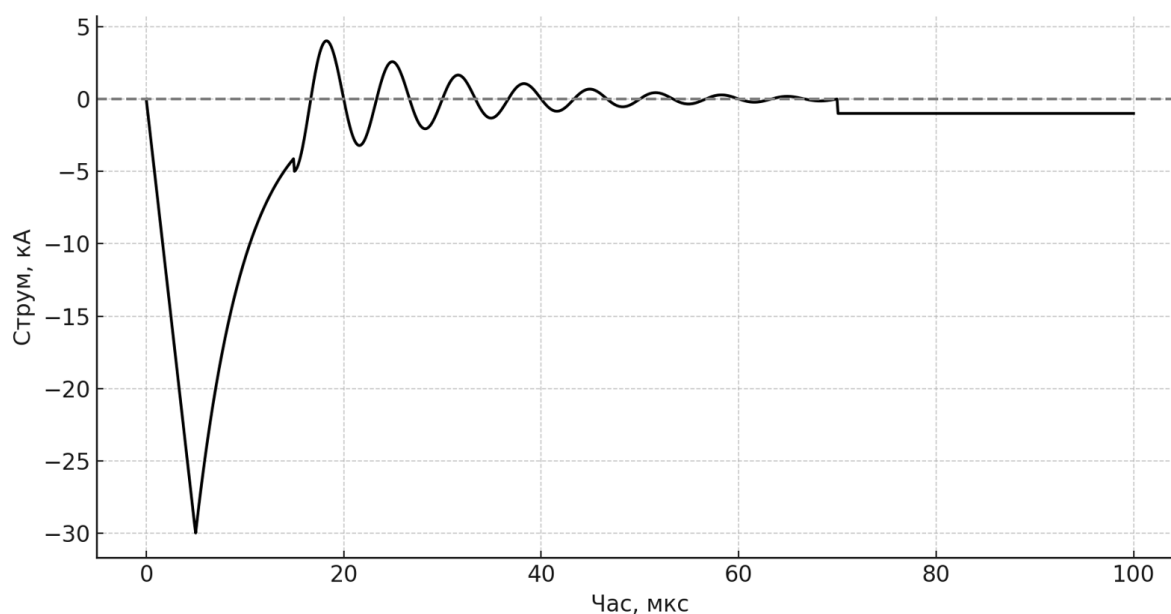


Рисунок 1.1 – Осцилограма струму блискавки

Після досягнення пікового значення струму блискавки його подальше зниження до нульового рівня відбувається поступово. Оцінювання тривалості імпульсу зазвичай здійснюється за допомогою параметра часу напівспаду $t_{хв}/\tau$ (див. рис. 1.1), який визначається як проміжок часу від умовного початку імпульсу до моменту, коли струмова крива, що проходить через максимум, зменшується до половини амплітуди.

Після головного імпульсу можуть спостерігатися додаткові, повторні імпульси струму блискавки. У спрощених розрахунках зазвичай застосовують усереднені значення амплітуди $I_{БЛ}$ та крутизни $I'_{БЛ}$, не враховуючи можливі відмінності між початковим та наступними імпульсами. У таких випадках статистичні характеристики струму допускається апроксимувати експоненціальними функціями певного виду:

$$P(I_{БЛ}) = \exp(-0,04 \cdot I_{БЛ}); \quad P(I'_{БЛ}) = \exp(-0,08 \cdot I'_{БЛ}), \quad (1.1)$$

де $P(I_{БЛ})$ і $P(I'_{БЛ})$ – імовірність того, що амплітуда (чи крутизна) під час одного удару блискавки перевищить задане значення.

Між піковим значенням струму блискавки та швидкістю його наростання існує слабкий позитивний кореляційний зв'язок: загалом, вищим амплітудам відповідає більша крутизна фронту, хоча винятки також можливі. Проте через обмежену кількість експериментальних даних сьогодні неможливо надати точну кількісну оцінку цього зв'язку. У зв'язку з цим, при інженерних розрахунках амплітуду струму блискавки $I_{БЛ}$ та крутизну фронту $I'_{БЛ}$ зазвичай вважають статистично незалежними випадковими змінними.

Параметри імпульсу блискавки, зокрема тривалість фронту t_f та тривалість хвилі $t_{хв}$, мають випадковий характер і демонструють значні відмінності залежно від того, йдеться про перший чи повторні імпульси. Зазвичай перші імпульси мають більшу тривалість як фронту, так і самої хвилі порівняно з наступними.

Для початкового імпульсу характерна довжина фронту в межах від 2 до 10 мкс, середнє значення становить приблизно 5 мкс. У повторних імпульсів цей показник значно менший — близько 0,6 мкс у середньому. Щодо тривалості хвилі, то у першого імпульсу вона коливається в діапазоні 20–200 мкс, середнє значення — 75 мкс. У повторних розрядів хвиля, як правило, майже вдвічі коротша й складає близько 32 мкс.

Окремі блискавки можуть складатися з одного імпульсу (такі випадки становлять близько 20%), але переважна більшість включає від 2 до 10 окремих розрядів. У рідкісних випадках зафіксовано блискавки з числом імпульсів понад 20.

Сукупна тривалість багатократного блискавкового розряду іноді сягає 1 секунди, хоча це трапляється нечасто. Типові розряди мають тривалість до 0,3 секунди. Проміжки часу між окремими імпульсами змінюються в діапазоні від 0,01 до 0,5 секунди, при цьому середнє значення становить близько 0,06 секунди.

Для оцінки перенапруг, що виникають в об'єктах під час удару блискавки, застосовується еквівалентна схема блискавкового каналу з урахуванням струму, який стікає до об'єкта. Величина опору цієї умовної схеми залежить від рівня струму розряду:

$$Z_{БЛ} = 140 \cdot (1 + 240 / I_{БЛ})$$

де $Z_{БЛ}$ — еквівалентний опір, Ом;

$I_{БЛ}$ — ($5 \leq I_{БЛ} \leq 300$ кА) величина струму блискавки, кА [9].

Класифікація впливів струмів блискавки

Для кожного визначеного класу системи блискавкозахисту встановлюються допустимі межі основних характеристик струму блискавкового розряду. У наведених нижче даних враховуються як висхідні, так і низхідні типи блискавок.

Співвідношення позитивних і негативних полярностей розрядів змінюється залежно від географічного розташування території. У разі відсутності локальних метеоспостережень стандартно приймають, що приблизно 10% розрядів мають позитивну полярність, тоді як решта 90% – негативну.

Основні руйнівні фактори блискавки – механічні навантаження та теплова дія – пов’язані з такими параметрами, як амплітуда струму I , сумарний електричний заряд, заряд одиничного імпульсу, а також питома енергія, виражена як $W/RW/R$. Найвищі значення цих величин зазвичай спостерігаються при позитивних блискавкових розрядах.

Пошкодження, спричинені наведеною перенапругою, значною мірою залежать від швидкості наростання струму на фронті імпульсу. Ця крутизна зазвичай визначається в межах між 30% і 90% від максимальної амплітуди струму. Найбільші значення даного параметра фіксуються у повторних імпульсах негативних блискавок.

Інтенсивність ударів блискавки в землю, що характеризується кількістю розрядів на 1 км² площі за рік, встановлюється на основі метеорологічних даних, зібраних у районі розташування об’єкта.

У разі відсутності достовірної інформації щодо щільності ударів блискавки NN, її допускається визначати розрахунковим методом за спеціальною формулою, яка дає значення в одиницях 1/(км²·рік).

$$N_g = 6,7 \cdot T_d / 100 \quad (1.1)$$

де T_d - середньорічна тривалість гроз у годинах, визначена за регіональними картками інтенсивності грозової діяльності.

Окрім термічних та механічних впливів, струм блискавки супроводжується високочастотними електромагнітними імпульсами, які можуть негативно впливати на електронні системи. До таких систем належать пристрої зв’язку, керування, автоматизації, а також обчислювальна та інформаційна техніка. Подібні комплекси широко застосовуються в промисловості,

інфраструктурі та бізнес-середовищі, а їхнє пошкодження внаслідок грозового розряду може мати серйозні наслідки як з точки зору безпеки, так і в економічному аспекті.

Блискавковий розряд може мати як один потужний імпульс струму, так і кілька послідовних імпульсів, розділених паузами, під час яких протікає менш інтенсивний супроводжуючий струм. При цьому характеристики першого імпульсу суттєво відрізняються від параметрів наступних розрядів.

У подальшому представлено узагальнені дані щодо типових розрахункових значень параметрів струму першого та повторних імпульсів (таблиці 1.4 та 1.5), а також характеристик тривалого струму, що протікає в інтервалах між імпульсами (таблиця 1.6), для стандартних типів об'єктів за різних рівнів захисту [1].

Середній струм приблизно дорівнює Q_L / T .

Форма імпульсів струму визначається наступним виразом:

$$i(t) = \frac{[I \cdot (t / \tau_1)^{10} \cdot \exp(-t / \tau_2)]}{k[1 + (t / \tau_1)^{10}]}, \quad (1.2)$$

де I - максимум струму; k - коефіцієнт, коригуючий значення максимуму струму; t - час; τ_1 - стала часу для фронту; τ_2 - постійна часу для спаду.

Значення параметрів, які входять у формулу (1.2), що описує зміна струму блискавки в часі, наведені в табл. 1.7.

2 ЗАХИСТ ВІД ПРЯМОГО УДАРУ БЛИСКАВКИ

2.1. Система технічних засобів блискавкозахисту

Комплекс технічних рішень для захисту будівель і споруд від блискавки складається з елементів, призначених для протидії як прямим ударам блискавки (зовнішня система блискавкозахисту), так і вторинним її впливам (внутрішня система захисту). Залежно від типу об'єкта та рівня потенційної небезпеки, система може включати як повний комплект засобів, так і лише зовнішню або лише внутрішню частину.

У загальному випадку частина струму блискавки, що потрапляє на об'єкт, може протікати по елементах внутрішньої системи захисту. Зовнішній блискавкозахист може бути виконаний як окремо встановлені блискавковідводи (наприклад, стрижневі або тросові конструкції), що не мають безпосереднього контакту з будівлею, або ж як конструктивні елементи самої споруди, які виконують функцію перехоплення розряду.

Внутрішні засоби блискавкозахисту спрямовані на зменшення впливу електромагнітних полів, викликаних протіканням струму блискавки, а також на запобігання виникненню іскрових розрядів усередині будівлі чи споруди.

Коли блискавковий струм потрапляє в приймальний елемент системи (блискавкоприймач), він далі відводиться по струмовідводах до заземлювального пристрою, де розсіюється в ґрунті [1].

2.2 Блискавкоприймачі

Блискавкоприймачі можуть бути як спеціально встановленими конструкціями, так і виконуватися із використанням елементів самої споруди. У випадку, коли захисну функцію виконують частини будівлі, їх класифікують як природні блискавкоприймачі.

Конструкція блискавкоприймача може включати різні комбінації таких елементів, як вертикальні стрижні, натягнуті дроти (троси) або провідникові сітки.

До природних блискавкоприймачів можуть належати такі конструктивні елементи будівель:

- **а)** Металеві покрівлі, за умови дотримання наступних умов:
 - забезпечена надійна електрична безперервність між усіма сегментами покрівлі на тривалий період експлуатації;
 - товщина металу відповідає вимогам, зазначеним у табл. 2.2, у випадках, коли необхідно захистити покрівлю від прогорання чи механічного пошкодження;
 - якщо захист від пошкоджень не є обов'язковим, товщина металу повинна становити не менше 0,5 мм, при відсутності ризику займання горючих матеріалів під покриттям;
 - покрівля не має ізолюючого шару (невеликий шар фарби, 0,5 мм асфальтового або 1 мм пластикового покриття ізоляцією не вважаються);
 - неметалеві матеріали, що знаходяться на або під покрівлею, не виходять за межі зони захисту.
- **б)** Металеві елементи конструкції даху (наприклад, ферми або зварна сталева арматура), за умови їхньої електричної цілісності.
- **в)** Водостічні труби, декоративні металеві елементи чи перила на покрівлі, якщо їх поперечний переріз відповідає вимогам для класичних блискавкоприймачів.
- **г)** Технологічні труби або резервуари з металу товщиною не менше 2,5 мм, за умови, що їх можливе локальне оплавлення не становить загрози.
- **д)** Металеві труби й резервуари з товщиною стінки, не меншою ніж вказано у табл. 2.2, якщо нагрів з внутрішнього боку об'єкта в точці удару блискавки не створює небезпечної ситуації.

Для зниження ризику утворення небезпечного іскріння струмовідводи рекомендується розміщувати так, щоб:

- **а)** струм блискавки міг розтікатися через декілька паралельних шляхів;
- **б)** довжина шляхів струмового відводу була мінімально можливою.

У разі використання стрижневих блискавкоприймачів, встановлених на окремих опорах або опорі, на кожній передбачають щонайменше один струмовідвід.

Для тросових або провідникових блискавкоприймачів струмовідводи встановлюються на кожному кінці провідника.

Якщо блискавкоприймач виконаний у вигляді сітки, підвішеної над об'єктом, то на кожній опорній конструкції сітки повинен бути передбачений щонайменше один струмовідвід. Загальна кількість струмовідводів у системі має становити не менше двох.

Струмовідводи розташовуються по периметру будівлі, що захищається, з таким розрахунком, щоб середня відстань між ними відповідала значенням, наведеним у табл. 2.3.

Для покращення розтікання струму блискавки, струмовідводи об'єднуються горизонтальними провідниками, прокладеними поблизу земної поверхні, а також на кожних 20 метрах висоти будівлі.

Ось перефразований варіант назви таблиці:

Таблиця 2.3 – Рекомендована середня відстань між струмовідводами відповідно до класу блискавкозахисту

Рівень захисту	Середня відстань,м
I	10
II	15
III	20
IV	25

2.3 Струмовідводи та їх використання

Для забезпечення ефективного розтікання струму блискавки бажано розташовувати струмовідводи рівномірно вздовж усього периметра споруди. За можливості їх слід прокладати поруч із кутовими ділянками будівлі.

У випадках, коли струмовідводи не ізольовані від споруди, їх прокладають з урахуванням матеріалу стін:

- Якщо будівля зведена з негорючих матеріалів, струмовідвід може бути закріплений безпосередньо на поверхні або інтегрований у стіну.
- Якщо використано горючі матеріали, прокладка допускається на поверхні стіни, за умови, що тепловий вплив струму блискавки не викликає загоряння.
- Якщо існує ризик займання, струмовідвід розміщують на відстані щонайменше 0,1 м від стіни. При цьому металеві кріплення можуть стикатися зі стіною.

З метою безпеки не рекомендується прокладати струмовідводи всередині водостічних труб. Також бажано уникати їх розташування поблизу вікон і дверей. Прокладка виконується по вертикалі або горизонталі найкоротшим маршрутом до заземлювача, уникаючи створення петель.

Природними струмовідводами можуть бути:

- металеві елементи конструкції (за умови довговічної електричної безперервності та достатнього перерізу),
- каркас споруди, виготовлений з металу,
- зв'язана між собою сталева арматура залізобетонних конструкцій,
- фасадні частини з профільованих металевих елементів, якщо товщина металу $\geq 0,5$ мм.

Арматура вважається електрично суцільною, якщо:

- не менше половини з'єднань вертикальних і горизонтальних елементів виконано зварюванням або болтовим/дротяним з'єднанням;
- забезпечено електричну неперервність між арматурою готових та монолітних частин споруди.

Прокладка горизонтальних провідників уздовж висоти будівлі (через кожні 20 м) не є обов'язковою, якщо використовується суцільна металева арматура або каркас.

Усі блискавковідводи, окрім окремо встановлених, мають бути електрично з'єднані із заземлювачами електроустановок і телекомунікацій. Якщо ці системи розділені, їх слід об'єднати через систему потенціального вирівнювання.

Типи ефективних заземлювачів:

- кільцеві заземлювальні контури,
- вертикальні/похилі електроди,
- радіальні схеми,
- контур по дну котловану,
- заземлювальні сітки.

Глибокі заземлювачі ефективні, якщо питомий опір ґрунту зменшується з глибиною. Заземлювальні елементи зазвичай розміщують на глибині $\geq 0,5$ м і не ближче ніж 1 м до фундаменту.

З'єднана арматура та підземні металеві конструкції можуть служити електродами, за умови надійного механічного з'єднання. У разі використання попередньо напруженого бетону слід враховувати ризик пошкодження через електродинамічний вплив.

Кріплення блискавкоприймачів і струмовідводів виконується з урахуванням навантажень — конструкція має бути стійкою до ударів блискавки, вітру, снігу тощо. Мінімізується кількість з'єднань; вони мають бути надійно виконані — зварюванням, паянням, болтовим з'єднанням або затискачами.

2.4 Вибір типу блискавковідводу

Тип і геометричні параметри блискавковідводів обираються відповідно до необхідного рівня надійності захисту. Вважається, що об'єкт належно захищений, якщо сумарна конфігурація блискавковідводів забезпечує імовірність ураження не вищу за встановлений рівень РЗР_3.

Система блискавкозахисту повинна максимально використовувати наявні природні блискавковідводи (елементи конструкції будівлі). Якщо цього недостатньо — додають спеціально встановлені стрижневі або тросові блискавковідводи.

У загальному випадку оптимальний варіант визначається за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, яке дозволяє враховувати форму, розміри об'єкта та розташування декількох типів блискавковідводів. Також можна обрати найменшу можливу висоту захисних елементів шляхом переходу від стрижневої до тросової конфігурації, особливо у випадку їхньої підвіски по периметру.

Для стандартних об'єктів можуть використовуватися типові рішення: одинарні або парні стрижневі чи тросові блискавковідводи, замкнуті тросові системи тощо. У таких випадках застосовують методику побудови захисних зон відповідно до чинного нормативу.

Також допускається використання методів обчислення зон захисту, базованих на методі обертової сфери або захисного кута, згідно зі стандартами ІЕС, якщо вони є більш жорсткими за національні вимоги.

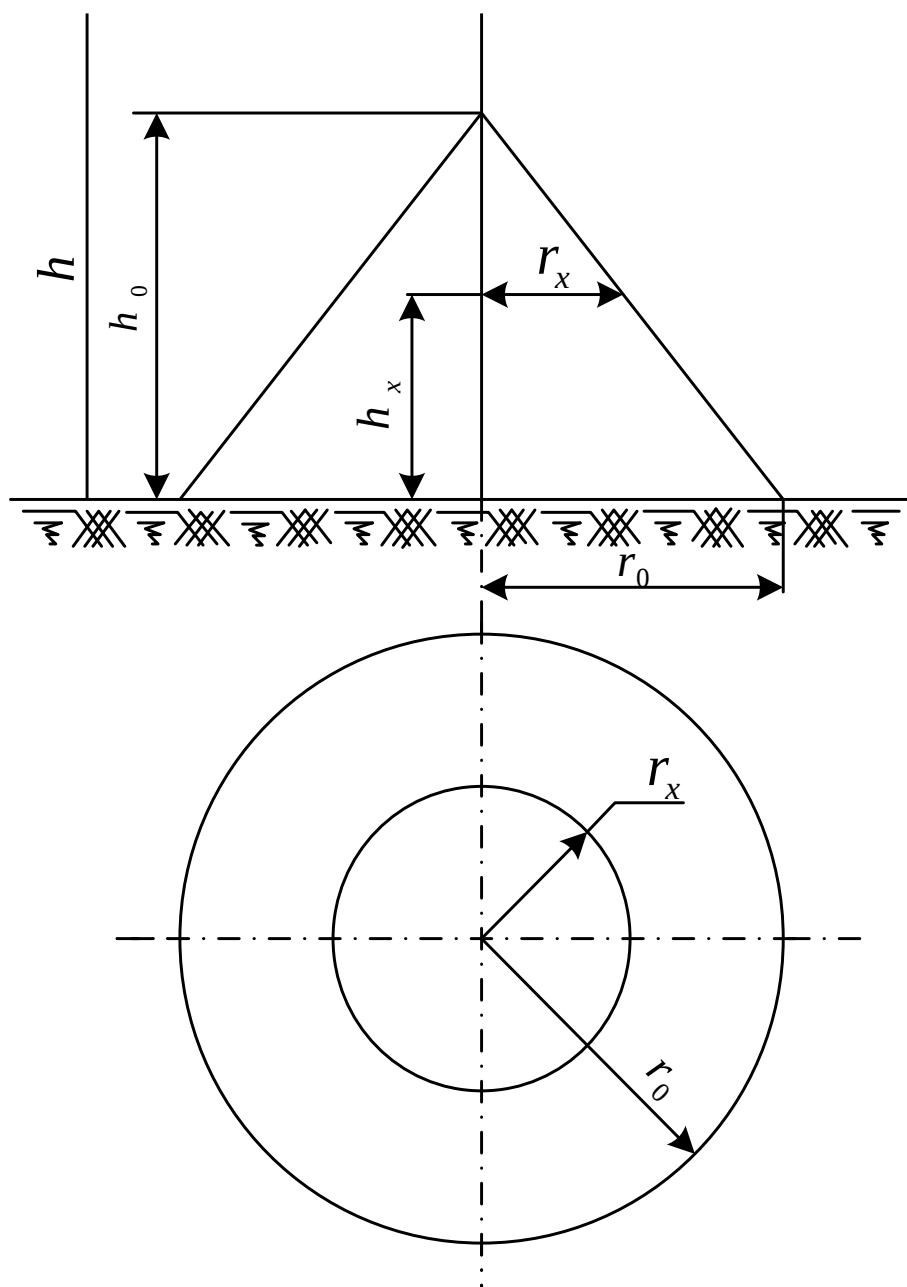


Рисунок 2.1. Зона захисту одного стрижневого блискавковідводу

Геометричні розміри зони захисту задаються двома основними характеристиками: **висотою утвореного конуса** та **радіусом його основи**, що вимірюється на рівні земної поверхні.

Розрахункові співвідношення, наведені в таблиці 2.4, застосовуються для блискавковідводів заввишки до 150 метрів. У разі використання захисних пристроїв більшої висоти необхідно використовувати спеціалізовані методики для точнішого визначення параметрів зони захисту.

Для забезпечення потрібного рівня надійності захисту (див. рис. 2.1), **радіус горизонтального перерізу зони** на заданій висоті визначається за відповідною аналітичною формулою:

$$r_x = \frac{r_0(h_0 - h_x)}{h_0}. \quad (2.1)$$

Таблиця 2.4 Розрахунок зони захисту одного стрижневого блискавковідводу

Надійність захисту P_3	Висота блискавковідводу h , м	Висота конуса h_0 , м	Радіус конуса r_0 , м
0,9	Від 0 до 100	0,85h	1,2h
	Від 100 до 150	0,85h	$[1,2 - 10^{-3}(h-100)]h$
0,99	Від 0 до 30	0,85h	0,8h
	Від 30 до 100	0,85h	$[0,8 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$
	Від 100 до 150	$[0,8 - 10^{-3}(h-100)]h$	0,7h
0,999	Від 0 до 30	0,7h	0,6h
	Від 30 до 100	$[0,7 - 7,14 \cdot 10^{-4}(h-30)]h$	$[0,6 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$
	Від 100 до 150	$[0,65 - 10^{-3}(h-100)]h$	$[0,5 - 2 \cdot 10^{-3}(h-100)]h$

Типові зони захисту, створювані одинарним тросовим блискавковідводом заввишки hh , мають форму, обмежену симетричними похилими площинами. У вертикальному розрізі така зона набуває вигляду рівнобедреного трикутника, вершина якого розташована на рівні вершини блискавковідводу, а основа – на поверхні землі (див. рис. 2.2).

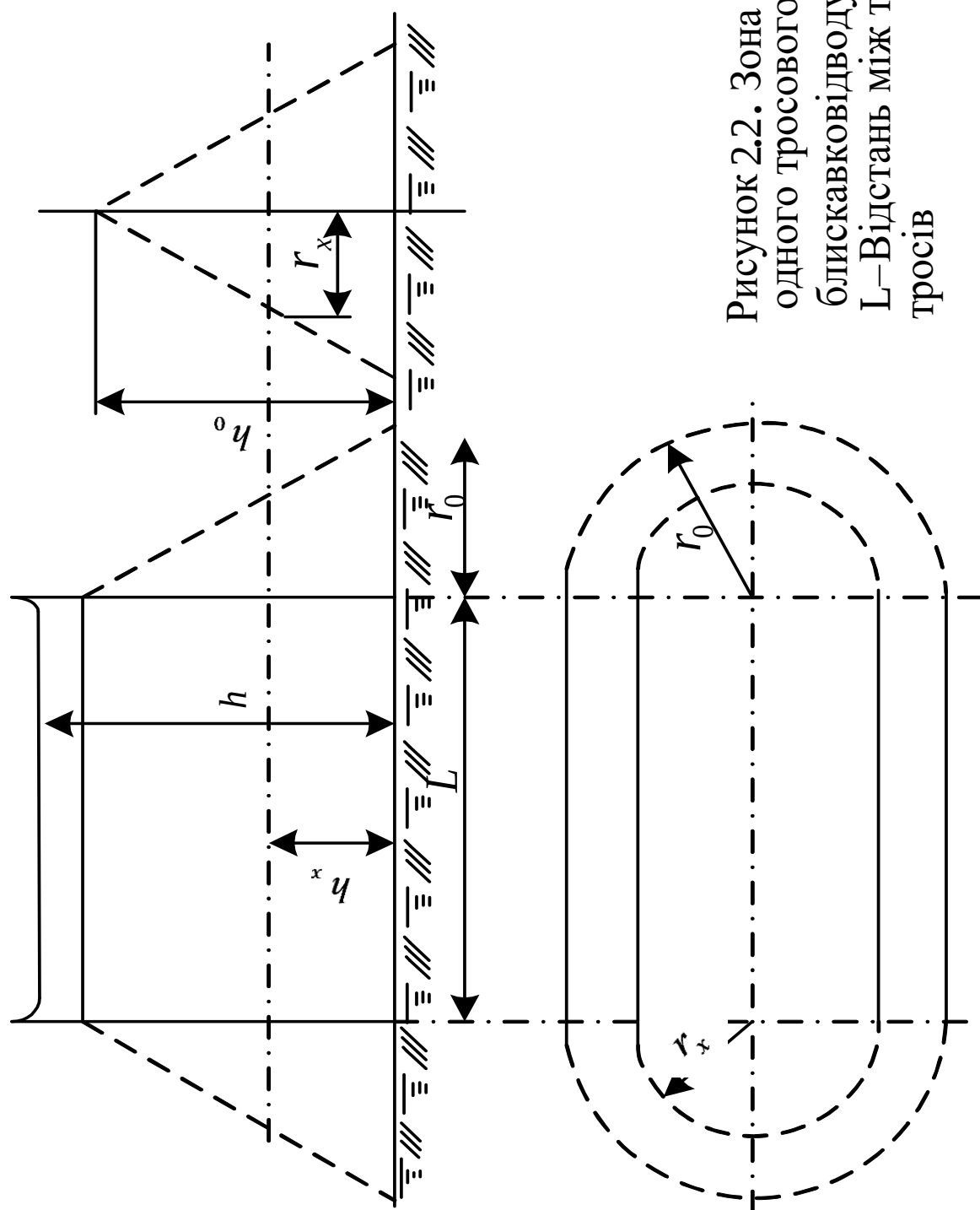


Рисунок 2.2. Зона захисту
одного тросового
блискаковідводу
L—Відстань між точками підвісу
тросів

Розрахункові залежності, що наведені нижче, застосовуються для визначення параметрів зони захисту у випадку, коли висота тросового блискавковідводу не перевищує 150 метрів. Якщо висота перевищує зазначене значення, для обчислень доцільно використовувати спеціалізоване програмне забезпечення.

У цьому розділі та далі під величиною h_h розуміють мінімальну висоту троса над рівнем ґрунту, яка враховує можливе провисання.

Величина, що відповідає **половині ширини зони захисту** на певній висоті над поверхнею землі (див. рис. 2.2), визначається згідно з формулою (2.2):

$$r_x = \frac{r_0(h_0 - h_x)}{h_0} \quad (2.2)$$

У випадках, коли виникає потреба збільшити об'єм простору, що підлягає блискавкозахисту, зону дії тросового блискавковідводу можна розширити за рахунок додаткових зон, які формуються навколо несучих опор. Такі зони розраховуються згідно з формулами, що застосовуються для одиночних стрижневих блискавковідводів, як наведено у таблиці 2.4.

У ситуаціях, коли трос має значне провисання (наприклад, на повітряних лініях електропередачі), використання формального підходу на основі мінімальної висоти троса може призвести до надмірного резервування захисту. У таких випадках доцільно застосовувати програмні методи для визначення імовірності прориву блискавки до об'єкта.

Блискавковідвід класифікується як подвійний, якщо відстань LL між двома стрижневими блискавкоприймачами не перевищує граничного нормативного значення. Якщо ж ця відстань більша, кожен блискавковідвід розглядається як окремий.

Структура зон захисту для подвійної системи стрижневих блискавковідводів із висотою h_h і міжосьовою відстанню LL представлена на рисунку 2.3. Області захисту по зовнішньому периметру — півконусні форми —

будуються на основі формул для одиночних блискавковідводів, наведених у таблиці 2.4.

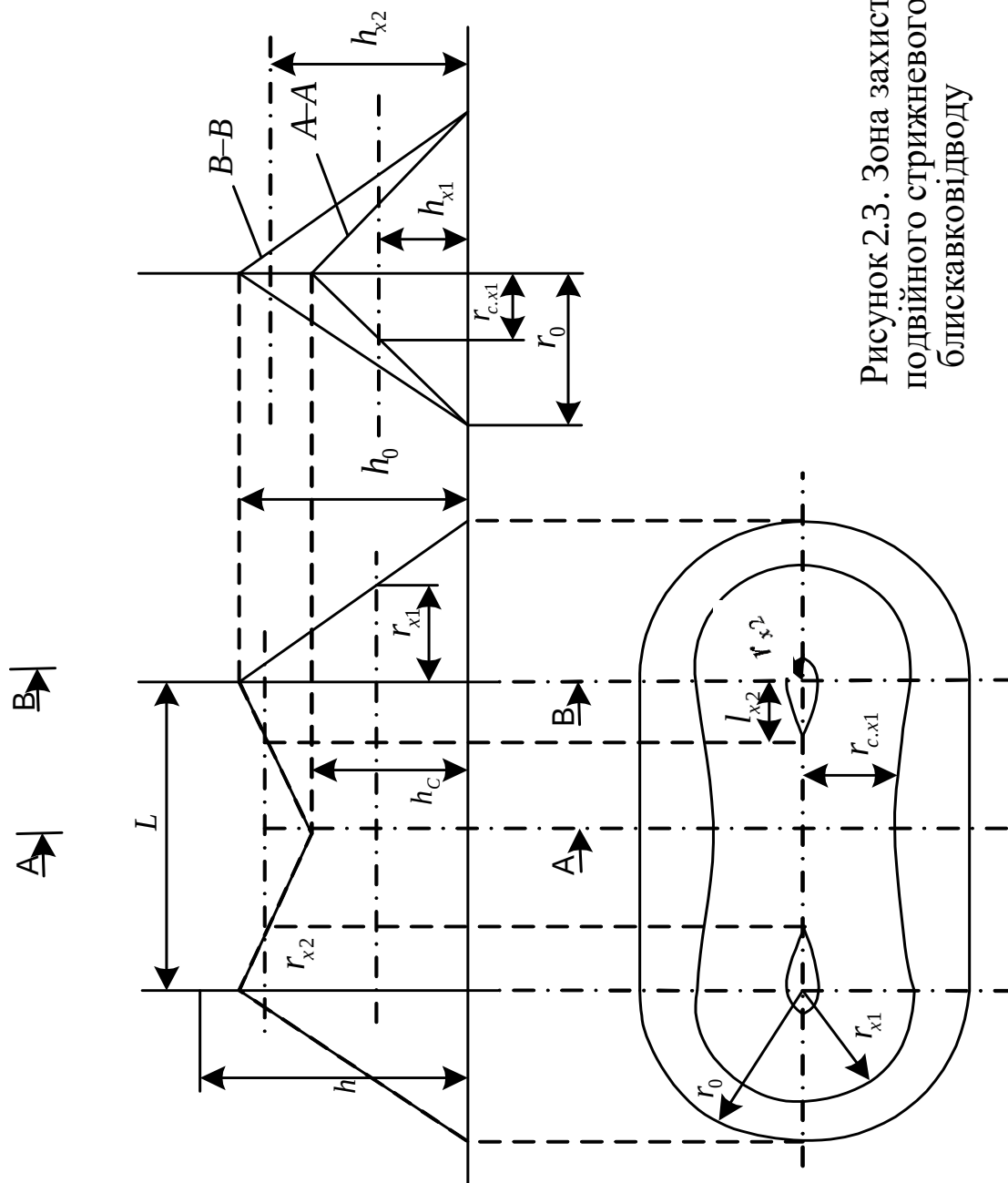


Рисунок 2.3. Зона захисту
подвійного стрижневого
блискавковідводу

Геометричні характеристики внутрішньої частини зони захисту задаються двома основними параметрами: перший визначає найбільшу висоту захищеної області безпосередньо поруч з блискавковідводами, а другий — найменшу висоту в центральній частині між ними.

Коли відстань між блискавковідводами дорівнює певному граничному значенню, контур зони захисту утворюється без вигину — тобто без провисання. Якщо ж ця відстань перевищує вказану межу, мінімальна висота захищеної області в центрі визначається за відповідною формулою:

$$h_c = \frac{L_{\max} - L}{L_{\max} - L_c} h_0. \quad (2.3)$$

$$r_x = \frac{r_0(h_0 - h_x)}{h_0} \quad (2.4)$$

$$l_x = \frac{L(h_0 - h_x)}{2(h_0 - h_c)}, \quad (2.5)$$

причому при $h_x < h_c$ $l_x = L/2$;

$$r_{cx} = \frac{r_0(h_c - h_x)}{h_c} \quad (2.6)$$

Система блискавкозахисту вважається подвійною тросовою, якщо відстань між двома тросами LL не перевищує допустимого граничного значення. У разі перевищення цієї межі кожен блискавковідвід розглядається як окрема, незалежна одиниця.

Форма зон захисту для подвійної тросової системи, що має висоту h і відстань між тросами L , наведена на рисунку 2.4. Зовнішні межі зони, які утворюються двома похилими площинами, розраховуються за формулами для одиночного тросового блискавковідводу, що подані в таблиці 2.5.

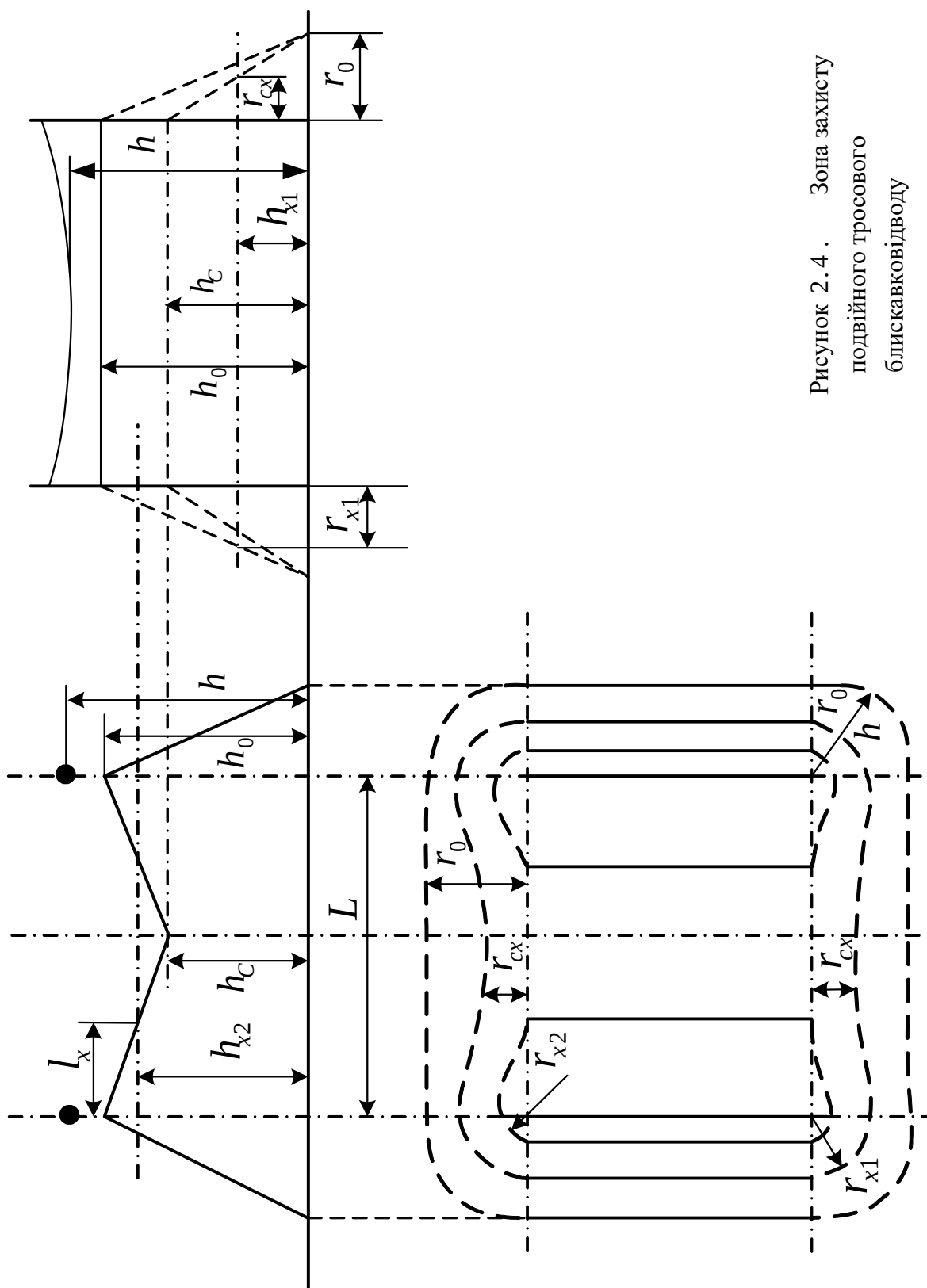


Рисунок 2.4. Зона захисту
подвійного тросового
блискавковідводу

$$h_c = \frac{L_{\max} - L}{L_{\max} - L_c} h_0. \quad (2.7)$$

Граничні відстані, які входять до складу зони захисту, позначені як $L_{\max}$ і L_c , визначаються за емпіричними співвідношеннями, наведеними в таблиці 2.7. Ці формули є актуальними для тросових блискавковідводів із висотою підвісу не більше 150 метрів. У випадку перевищення цієї межі для точного розрахунку слід застосовувати спеціалізовані програмні засоби.

Розмір горизонтального перерізу зони захисту на заданій висоті визначається за такими аналітичними формулами:

$$\left. \begin{aligned} l_x &= L/2 \quad \text{при } h_c \geq h_x; \\ l_x &= \frac{L(h_0 - h_x)}{2(h_0 - h_c)}, \quad 0 < h_c < h_x. \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

Для збільшення обсягу захищеної зони, утвореної подвійним тросовим блискавковідводом, можливо накласти зону захисту від опор, що підтримують троси. Якщо відстань між опорами LL не перевищує граничне значення, визначене за формулами з таблиці 2.6, така зона розраховується за методикою для подвійного стрижневого блискавковідводу. У випадках, коли ця відстань більша, кожна опора розглядається окремо як одиночний блискавковідвід.

У ситуаціях, коли троси мають різну висоту, розташовані непаралельно або їхня висота змінюється по довжині прольоту, оцінку ефективності захисту слід виконувати із застосуванням спеціалізованого програмного забезпечення. Те саме рекомендується робити у випадках значного провисання тросів, щоб уникнути необґрунтованого завищення параметрів надійності.

Розрахункові рівняння також можуть бути використані для визначення висоти підвісу замкнутого тросового блискавковідводу, який призначено для створення зони захисту необхідної надійності для об'єктів висотою h_{ob} , розміщених у межах прямокутного майданчика площею SS . При цьому враховується мінімальний горизонтальний зсув DD між проєкцією троса й об'єктом, що захищається (див. рис. 2.5).

Під висотою підвісу розуміється найменша відстань від троса до поверхні землі, яка враховує можливе провисання в умовах підвищених літніх температур.

Для розрахунку цієї висоти h використовується наступна формула:

$$h = A + Bh_0 \quad (2.9)$$

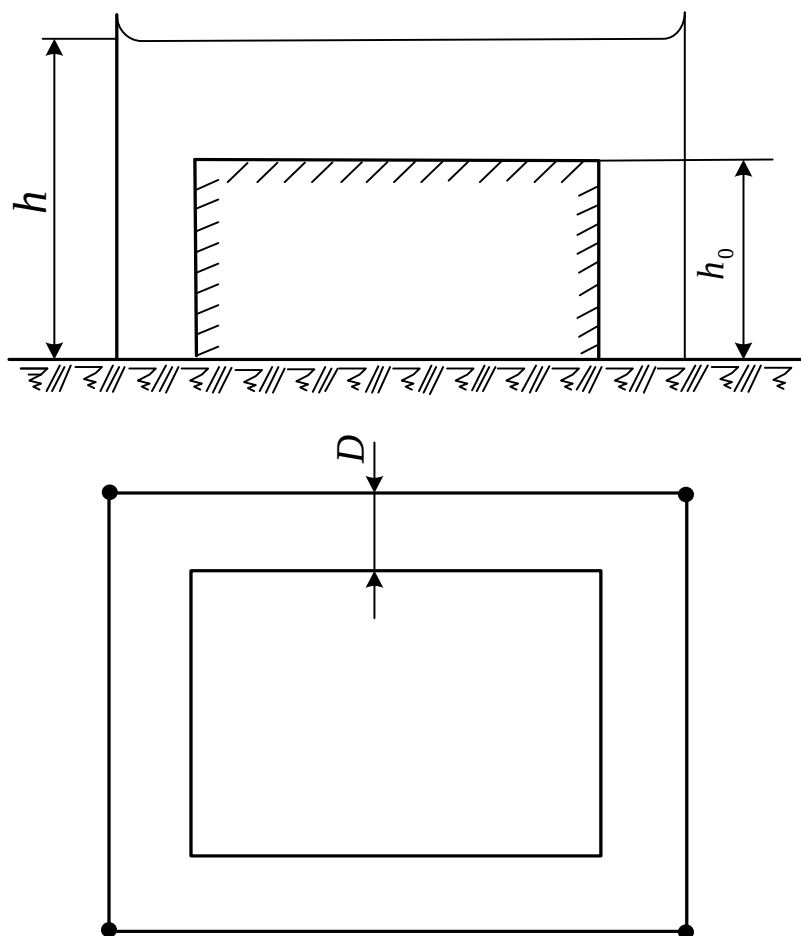


Рисунок 2.5. Зона захисту закритого тросового блискавковідводу

а) надійність захисту $P_3 = 0,99$

$$A = -0,14 + 0,252(D - 5) + [0,127 + 6,4 \cdot 10^{-4}(D - 5)]\sqrt{S_0}; \quad (2.10)$$

$$B = 1,05 - 9,08 \cdot 10^{-3}(D - 5) + [-3,44 \cdot 10^{-3} + 5,87 \cdot 10^{-5}(D - 5)]\sqrt{S_0}; \quad (2.11)$$

б) надійність захисту $P_3 = 0,999$

$$A = -0,08 + 0,324(D - 5) + [0,16 + 2,41 \cdot 10^{-4}(D - 5)]\sqrt{S_0}; \quad (2.12)$$

$$B = 1,1 - 0,0115(D - 5) + [4,24 \cdot 10^{-3} + 1,25 \cdot 10^{-4}(D - 5)]\sqrt{S_0}. \quad (2.13)$$

Розрахункові формули є достовірними для випадків, коли горизонтальне зміщення троса DD перевищує 5 метрів. Застосування тросів із меншим відхиленням є недоцільним, оскільки значно підвищується ризик виникнення зворотного перекриття між блискавкою та об'єктом, який підлягає захисту. Використання замкнутих тросових систем не рекомендується у випадках, коли потрібно забезпечити рівень надійності захисту нижчий за 0,99.

У ситуаціях, коли висота об'єкта перевищує 30 метрів, параметри висоти замкнутого тросового блискавковідводу слід визначати із використанням спеціалізованих програмних засобів. Також цей підхід необхідний, якщо форма захисного контуру має складну геометрію.

Після попереднього визначення висоти блискавковідводів відповідно до побудованих зон захисту, доцільно виконати верифікацію розрахунків шляхом оцінки імовірності прориву з використанням програмного моделювання. Якщо розрахунки вказують на надлишковий запас за рівнем надійності, рекомендується виконати корекцію висоти блискавковідводів у бік її зменшення.

Визначення зон захисту відповідно до стандартів МЕК

Нижче наведено основні положення щодо визначення зон захисту для споруд висотою до 60 метрів, відповідно до вимог міжнародного стандарту ІЕС 61024-1-1. Під час проєктування може бути застосований будь-який з рекомендованих підходів, проте досвід практичного використання свідчить про доцільність вибору певного методу залежно від типу об'єкта:

- **Метод захисного кута** найкраще підходить для споруд простої геометрії або окремих елементів великих об'єктів;
- **Метод обертальної (фіктивної) сфери** доцільно застосовувати для будівель зі складною формою;

- **Метод сітки** є універсальним рішенням, особливо ефективним для захисту відкритих поверхонь.

У таблиці 2.8 наведені числові значення, що відповідають рівням захисту I–IV, зокрема: кути при вершині зони, радіуси обертальних сфер, а також максимально допустимі розміри комірок у захисній сітці.

Стрижневі, тросові блискавкоприймачі або щогли мають розміщуватись таким чином, щоб уся конструкція або її частини перебували в межах захисної зони, яка формується під визначеним кутом до вертикалі. Значення цього кута вибирається згідно з даними таблиці 2.8, при цьому висота h_h розглядається як відстань від вершини блискавковідводу до поверхні, яку потрібно захистити.

Слід зазначити, що метод захисного кута **не застосовується**, якщо висота h_h перевищує радіус фіктивної сфери для обраного рівня захисту (див. табл. 2.8).

У випадках, коли використання методу захисного кута є неможливим (наприклад, через складну геометрію об'єкта), застосовується **метод фіктивної сфери**. У цьому випадку об'єкт вважається захищеним, якщо уявна сфера, яка торкається поверхні блискавковідводу та площини його встановлення, не перетинає поверхню самої споруди.

Захисна сітка забезпечує необхідний рівень захисту, якщо виконуються наступні умови:

- провідники сітки розміщуються по периметру даху, включаючи його виступи за межі основного об'єму будівлі;
- додатковий провідник прокладається по гребеню даху, якщо його нахил перевищує 10%.

Таблиця 2.8 Параметри для розрахунку блискавкоприймачів по рекомендаціям МЕК

Рівень захисту	Радіус уявної сфери R, м	Кут α^0 коло вершини блискавковідводу для заданої будь-якої висоти h, м				Крок комірки сітки, м
		20	30	45	60	
I	20	25	*	*	*	5
II	30	35	25	*	*	10
III	45	45	35	25	*	10
IV	60	55	45	35	25	20

- Бічні стіни будівлі, розташовані на висоті, що перевищує радіус уявної (фіктивної) сфери (згідно з табл. 2.8), повинні бути захищені за допомогою блискавковідводів або сітчастої системи блискавкозахисту.
- Розмір комірок захисної сітки не повинен перевищувати граничні значення, зазначені в таблиці 2.8.
- Сітка повинна бути спроектована таким чином, щоб забезпечити проходження блискавкового струму щонайменше по двох незалежних шляхах до заземлювального пристрою.
- Жодні металеві елементи не повинні виходити за межі зовнішнього контуру, визначеного сіткою.
- Прокладка провідників сітки виконується найкоротшими можливими маршрутами з урахуванням конструктивних особливостей споруди.

Захист кабельних ліній електрозв'язку магістрального та внутрішньозонового призначення

Під час проєктування нових або реконструкції існуючих кабельних ліній електрозв'язку, що належать до магістральних та внутрішньозонових мереж, обов'язково слід передбачати заходи блискавкозахисту на тих ділянках, де очікувана частота пошкоджень, викликана грозовими розрядами, перевищує допустимі значення. Критичний рівень імовірності уражень визначається згідно з нормативами, наведеними в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Гранично допустима кількість небезпечних ударів блискавки на 100 км кабельної лінії зв'язку

Тип кабеля	Допустиме розраховане число небезпечних ударів блискавки На 100км траси в рік n_0	
	В гірських районах і районах з кам'янистим ґрунтом коли опір вищий 500 Ом·м і в районах вічної мерзлоти	В інших районах
Симетричні Одно-четверні Однокоаксіальні	0,2	0,3
Симетричні Чотирьох- і семи-четверні	0,1	0,2
Багато парні Коаксіальні	0,1	0,2
Кабелі зонового зв'язку	0,3	0,5

У разі, коли нова кабельна лінія проєктується поруч із уже діючою і для останньої є доступні статистичні дані про кількість пошкоджень, зафіксованих протягом щонайменше 10 років експлуатації, при визначенні необхідності захисту від блискавкових розрядів слід враховувати різницю між розрахунковим та фактичним рівнем уражень існуючої лінії.

У такій ситуації допустиму щільність пошкоджень для проєктованої лінії визначають шляхом множення нормативного значення з таблиці 2.9 на відношення розрахункової кількості уражень до фактично зафіксованої кількості блискавкових пошкоджень на 100 км лінії впродовж одного року.

$$n_0 = n_0(n_p / n_\phi).$$

На ділянках існуючих кабельних ліній, де було зафіксовано пошкодження внаслідок удару блискавки, необхідно впроваджувати відповідні заходи захисту. Протяжність захищуваної зони визначається з урахуванням рельєфу місцевості — зокрема, довжини підвищених ділянок рельєфу або територій із підвищеним

питомим опором ґрунту. Водночас, мінімальна довжина такої ділянки має становити не менше 100 метрів у кожен бік від точки пошкодження.

У таких випадках зазвичай передбачається прокладання грозозахисних тросів під землею. Якщо ж виявлено пошкодження кабелю, який вже був обладнаний системою захисту, після його ремонту обов'язково проводиться перевірка технічного стану засобів блискавкозахисту. Лише після оцінки їхньої працездатності ухвалюється рішення щодо додаткових захисних заходів — таких як прокладання додаткових тросів або заміна кабелю на більш стійкий до дії блискавкових розрядів.

Всі заходи з удосконалення захисту мають виконуватись без зволікань — одразу після усунення наслідків грозового пошкодження.

Захист волоконно-оптичних кабельних ліній зв'язку магістрального та внутрішньозонового рівня

Для проєктованих волоконно-оптичних кабельних трас, що є частиною магістральних або внутрішньозонових мереж зв'язку, передбачення заходів захисту від ударів блискавки є обов'язковим у випадках, коли прогнозована ймовірність небезпечних грозових уражень (тобто очікувана щільність пошкоджень) перевищує гранично допустиме значення, наведене в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 Допустиме число небезпечних ударів блискавки на 100км траси в рік для оптичних кабелів зв'язку

Призначення кабеля	В гірських районах і районах з кам'янистим ґрунтом коли опір вищий $500 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ і в районах вічної мерзлоти	В інших районах
Кабелі магістральної мережі зв'язку	0,1	0,2
Кабелі внутрішньої мережі зв'язку	0,3	0,5

Під час проєктування волоконно-оптичних кабельних ліній передачі необхідно передбачити застосування кабелів, що відповідають вимогам до блискавкостійкості не нижче рівнів, зазначених у таблиці 2.11. Вибір категорії здійснюється з урахуванням умов прокладки та функціонального призначення лінії.

У разі прокладання таких кабелів на відкритій місцевості потреба у додаткових захисних заходах виникає лише у виняткових випадках — зокрема, в регіонах із високим питомим опором ґрунту або підвищеною частотою грозових розрядів.

Таблиця 2.11 Рекомендовані категорії по блискавкостійкості оптичних кабельних ліній

Райони	Для магістральної мережі зв'язку	Для внутрішньої мережі зв'язку
З граничним опором ґрунту до 1000 Ом·м	I – III	I – IV
З граничним опором ґрунту вище 1000 Ом·м	I, II	I – III
З багаторічним мерзлим ґрунтом	I	I, II

Для ділянок діючих волоконно-оптичних кабельних ліній, де були зафіксовані ушкодження, спричинені блискавковими розрядами, обов'язкове впровадження відповідних захисних заходів. Протяжність зони, що підлягає захисту, визначається умовами конкретної місцевості (наприклад, довжиною підвищеної ділянки рельєфу або території з високим питомим опором ґрунту), однак вона не повинна бути меншою ніж 100 метрів у кожен бік від точки ураження.

У таких випадках слід передбачити прокладання спеціальних захисних провідників. Усі роботи з реалізації системи захисту повинні проводитися одразу після завершення усунення пошкоджень, спричинених блискавкою.

Захист кабелів зв'язку від блискавкових розрядів у межах населених пунктів

Для кабельних ліній зв'язку, прокладених у межах населених територій, заходи захисту від ударів блискавки, як правило, не передбачаються, за винятком випадків, коли траса перетинається або проходить у безпосередній близькості до повітряних ліній електропередачі напругою 110 кВ і вище.

Захист кабелів, розміщених уздовж узлісся або поблизу високих об'єктів

Для кабельних ліній зв'язку, що прокладаються вздовж країв лісових масивів або в безпосередній близькості до окремо розташованих об'єктів заввишки понад 6 метрів (таких як дерева, щогли, опори ліній електропередач чи зв'язку, блискавковідводи тощо), необхідно передбачити захисні заходи.

Це правило застосовується, якщо відстань від кабелю до зазначених об'єктів (або до їхніх заземлених елементів) менша за граничні значення, вказані в таблиці 2.12, що залежать від питомого опору ґрунту.

Граничний опір ґрунту, $\Omega \cdot m$	Найменша допустима відстань, м
До 100	5
Більше 100 до 1000	10
Більше 1000	15

3. ЗАХИСТ ВІД ВТОРИННИХ НАСЛІДКІВ БЛИСКАВКОВИХ РОЗРЯДІВ

У цьому розділі розглядаються основні підходи до захисту електронних і електричних систем від вторинного впливу блискавки з урахуванням положень стандарту ІЕС 61312. Такі системи широко застосовуються у різних сферах промисловості, що використовують складне і високовартісне обладнання. Через високу чутливість сучасних технологій до електромагнітних перешкод, спричинених блискавкою, виникає необхідність у впровадженні спеціалізованих заходів захисту.

3.1. Просторова класифікація зон захисту від блискавки

Електронне й електротехнічне обладнання повинно розміщуватися у захищених зонах, які поділяються на окремі області залежно від рівня захищеності. На межах таких зон спостерігається суттєве зниження рівнів електромагнітного впливу. Загалом, чим вищий номер зони, тим нижчі значення напруг, струмів та інтенсивності електромагнітного поля.

- Зона 0 – простір, де можливе безпосереднє влучання блискавки. Усі об'єкти тут можуть піддаватися дії повного струму блискавки, а електромагнітне поле досягає максимальної інтенсивності.
- Зона 0' – зона, захищена від прямого блискавкового розряду, однак електромагнітне поле у ній зберігає високу інтенсивність, подібно до зони 0.
- Зона 1 – територія, де прямий удар блискавки виключений, а струми, що протікають по провідних елементах, значно менші порівняно з зоною 0'. Існує можливість зниження електромагнітного впливу за рахунок екранування.
- Зони 2 і далі – додаткові зони застосовуються за необхідності подальшого зменшення електричних та електромагнітних параметрів. Їх характеристики визначаються відповідно до вимог безпеки обладнання, розміщеного в межах кожної зони.

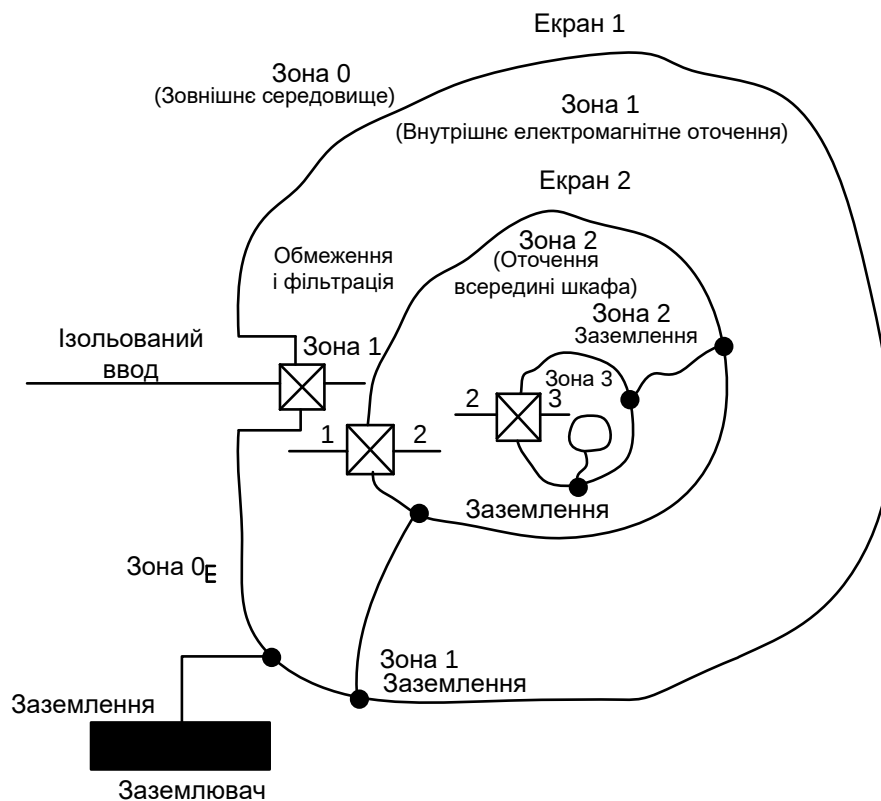


Рисунок 3.1. Зони захисту від дії блискавки

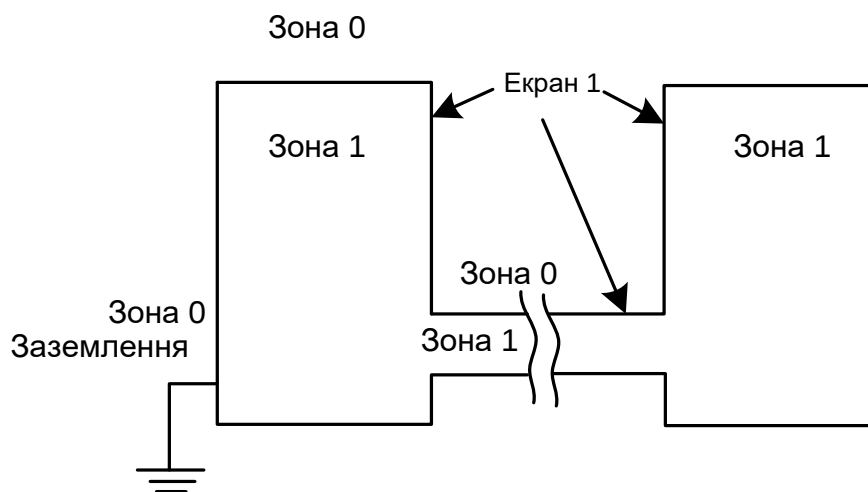


Рисунок 3.2. Об'єднання двох зон

Загальні принципи зонування території для блискавкозахисту

Основи поділу простору, який підлягає захисту від блискавки, на окремі зони демонструються на рисунку 3.1. На межах таких зон реалізуються заходи

щодо екранування та електричного з'єднання всіх металевих елементів і комунікацій, які перетинають ці межі.

У разі наявності двох ізольованих зон 1, вони можуть бути об'єднані в єдину захищену зону шляхом організації екранованого електричного з'єднання, як показано на рисунку 3.2.

3.2. Екранування

Одним із ключових методів зниження рівня електромагнітних завад є екранування. У ролі екрануючих структур можуть виступати металеві елементи самої будівлі або спеціально передбачені конструкції. Такі екрани можуть бути утворені арматурними сітками в стінах і перекриттях, металевими дахами, фасадами, каркасами й решітками. У результаті формується екран з отворами, які виникають через наявність дверей, вікон, вентиляційних шахт, електротехнічних проходів або зазори у фасаді.

Для зниження впливу електромагнітних полів усі металеві частини конструкції повинні бути електрично об'єднані та підключені до системи блискавкозахисту (див. рис. 3.3).

У випадку, коли кабельні траси з'єднують кілька будівель, доцільно виконати електричне з'єднання їхніх заземлювальних систем. Це сприяє збільшенню кількості паралельних шляхів струму, що зменшує електричне навантаження на окремі кабелі. Найбільш ефективно це забезпечується заземленням типу «сітка».

З метою зниження індукованих завад доцільно застосовувати наступні технічні рішення:

- використання зовнішніх екранів;
- оптимальне трасування кабелів;
- екранування кабелів живлення та інформаційних ліній.

Ці заходи можуть реалізовуватися комплексно.

Якщо всередині захищеного простору прокладено кабелі з екранами, останні слід приєднувати до системи блискавкозахисту як на початку, так і в кінці кабельної лінії, а також на межах захисних зон.

Кабелі, що з'єднують різні об'єкти, мають прокладатися в металевих трубах, сітчастих лотках або залізобетонних каналах із вбудованою металевою сіткою. Усі металеві оболонки й екрани повинні бути надійно з'єднані зі спільними заземлювальними шинами. У разі, якщо кабельні екрани розраховані на струм блискавки, металеві короби можуть не використовуватися.

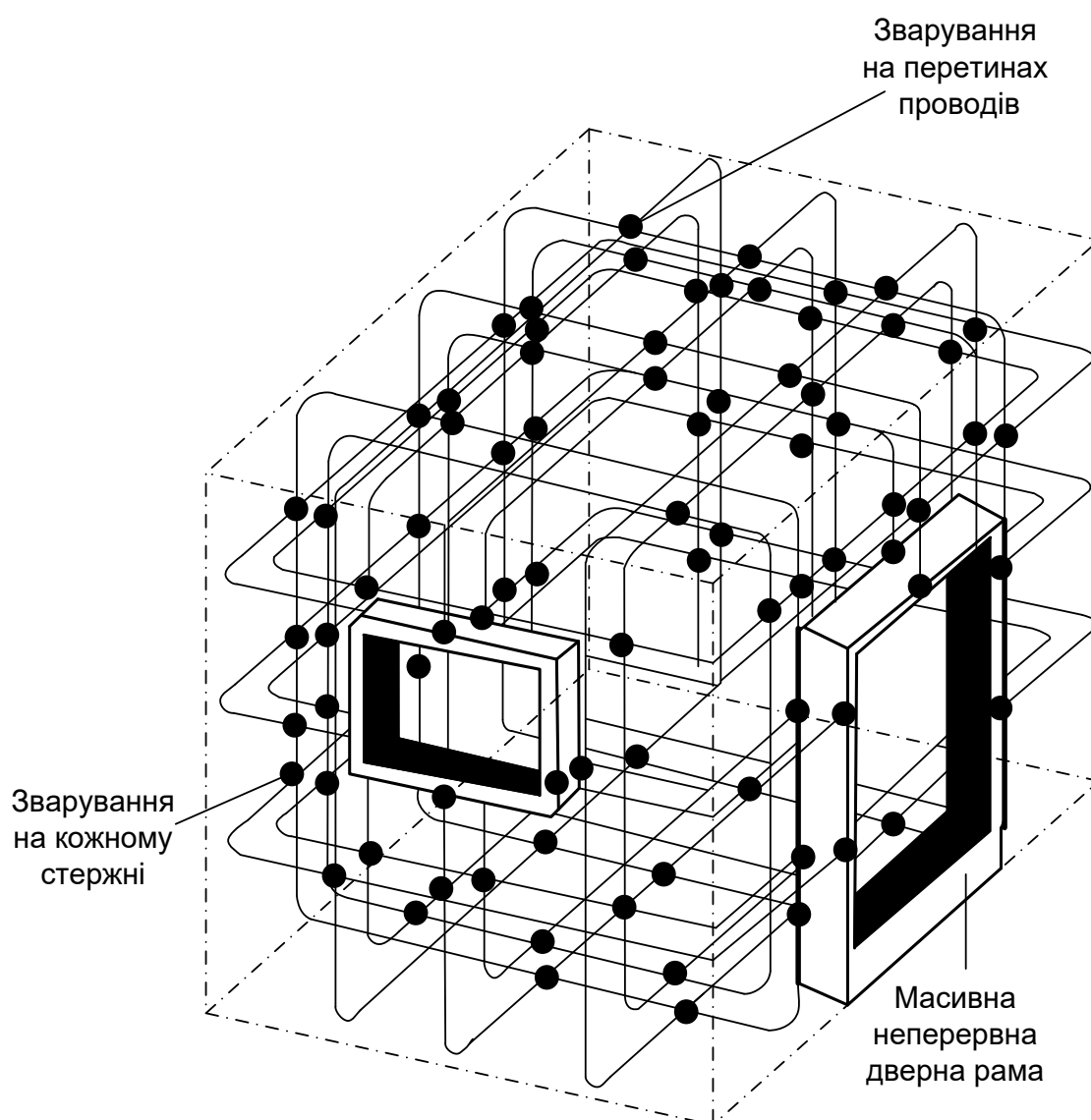


Рисунок 3.3. Просторовий екран із сталюї арматури

3.3. З'єднання

Для мінімізації потенціальних перепадів між металевими елементами всередині захищеної споруди необхідно виконувати їх електричне з'єднання. Такі з'єднання реалізуються на межах між зонами захисту від блискавки, де металеві частини конструкцій та інженерні системи проходять через ці межі. З'єднання здійснюються за допомогою спеціалізованих провідників, затискачів або, за потреби, із застосуванням засобів захисту від перенапруг.

Усі провідники, що вводяться до будівлі ззовні, мають бути приєднані до системи блискавкозахисту.

Якщо зовнішні комунікації (силові, інформаційні або інші кабелі) вводяться в будівлю через різні місця, утворюється декілька шин заземлення. Кожна з них повинна бути з'єднана найкоротшим шляхом із замкнутою заземлювальною петлею, з арматурними каркасами конструкції або з металевим облицюванням (за наявності). Якщо така кільцева система відсутня, шини заземлення слід з'єднувати з окремими заземлювальними електродами, між якими прокладається зовнішній кільцевий провідник (можна частково замкнутий).

Для випадків, коли кабелі прокладаються надземно, загальні шини приєднуються до горизонтального кільцевого провідника, прокладеного або всередині, або зовні стін будівлі. Цей провідник повинен бути зв'язаний із заземлювальною арматурою та нижніми струмопровідними елементами системи блискавкозахисту.

Кабелі, прокладені на рівні землі, рекомендується з'єднувати з блискавкозахисною системою на цьому ж рівні. Загальна шина, в місці введення кабелю в споруду, має бути розміщена якнайближче до заземлювального електрода та арматури, з якими вона повинна бути електрично з'єднана. Кільцева шина повинна мати з'єднання з конструктивними арматурними або екрануючими елементами (наприклад, фасадним облицюванням) через кожні 5 метрів.

Мінімально допустимий переріз з'єднувальних провідників становить 50 мм² для мідних або оцинкованих сталевих жил.

У випадку, якщо об'єкт містить високочутливі до перешкод інформаційні системи, загальні шини доцільно виконувати з металевих смуг із численними з'єднаннями до конструктивної арматури або інших елементів, що виконують роль екрану.

Параметри струму, які враховуються для контактних з'єднань та пристроїв обмеження перенапруг, розміщених на межі зон 0 та 1, наведені у таблиці 1.3. Якщо в наявності кілька паралельних провідників, розподіл струму між ними має бути врахований у розрахунках.

Коли кабелі та провідники вводяться до будівлі на рівні землі, необхідно оцінити, яку частину струму блискавки вони можуть проводити.

Розрахунок перерізу з'єднувальних провідників виконується згідно з таблицями 3.1 та 3.2:

- **таблиця 3.1** застосовується, якщо через провідник протікає більше ніж 25% повного струму блискавки;
- **таблиця 3.2** використовується, коли частка струму становить менше 25%.

Рівень захисту	Матеріал	Переріз, мм ² , не менше
I – IV	Мідь	16
I – IV	Алюміній	25
I – IV	Залізо	50

Таблиця 3.2 Переріз провідників, через які протікає незначна частина струму блискавки

Рівень захисту	Матеріал	Переріз, мм ² , не менше
I – IV	Мідь	6
I – IV	Алюміній	10
I – IV	Залізо	16

3.5 Пристрої захисту від перенапруг та принципи з'єднання провідних елементів

Захисний пристрій від перенапруги (ПЗП) обирається таким чином, щоб він міг витримувати частину струму блискавки, ефективно обмежувати перенапруги та автоматично вимикати супровідні струми після проходження основного імпульсу.

Величина максимального перенапруження U_{maxU} , що виникає на вході в об'єкт, повинна бути погоджена з допустимим рівнем напруги електросистеми.

Для мінімізації перенапруг, провідники, якими з'єднуються лінії з головною шиною, мають бути якомога коротшими. Усі струмопровідні компоненти, зокрема кабелі, що перетинають межі зон блискавкозахисту, необхідно об'єднувати на цих межах — шляхом приєднання до єдиної шини. До цієї ж шини мають бути підключені екрани кабелів, корпуси приладів, металеві конструкції тощо.

Параметри струмів для контактних з'єднувачів та ПЗП визначаються індивідуально для кожного випадку. Перенапруження на кожній межі зон має бути погоджене з допустимою робочою напругою обладнання, а також із енергетичними характеристиками інших засобів захисту.

Всі масивні провідні елементи всередині будівлі — такі як металеві перекриття, крани, рами дверей, вентиляційні труби, лотки для кабелів — повинні бути під'єднані до найближчої загальної шини або до іншого елементу системи вирівнювання потенціалів найкоротшим можливим шляхом. Доцільно також передбачити додаткові з'єднання для зменшення потенціальних різниць.

Рекомендовані поперечні перерізи провідників, які забезпечують ці з'єднання, подано в табл. 3.2. При цьому припускається, що через них проходить лише незначна частка повного струму блискавки.

Усі відкриті провідні частини, що належать до інформаційних систем, повинні бути включені до спільної з'єднувальної мережі. В окремих випадках

допускається, щоб така мережа не мала безпосереднього контакту із заземленням.

Для металевих оболонок, каркасів та інших частин високочутливого обладнання існує два підходи до приєднання їх до заземлювача:

- **радіальна схема**, при якій усі металеві частини ізолюються від землі, крім однієї точки з'єднання;
- **сітчаста схема**, яка передбачає багатоточкові з'єднання.

У першому випадку — радіальне заземлення — вся система приєднується до заземлювача в єдиній точці (див. рис. 3.4), що характерно для компактних об'єктів, в яких всі комунікації заходять в одну точку. Така конфігурація дозволяє розміщувати з'єднувальні провідники у вигляді зірки, прокладаючи їх паралельно, що істотно зменшує індуктивність петель. Одноточкове заземлення також запобігає проникненню струмів низької частоти, спричинених блискавкою, у чутливу електроніку, і водночас унеможливорює виникнення завад із середини інформаційної системи через систему заземлення.

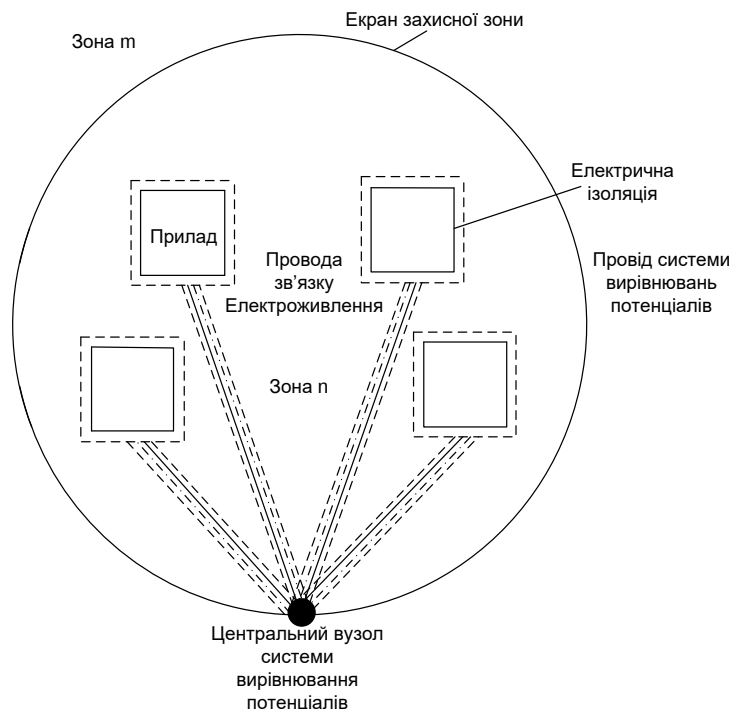


Рисунок 3.4. Схема з'єднання проводів електроживлення і зв'язку при радіальній системі вирівнювання потенціалів

Введення проводів у зону захисту повинно здійснюватися виключно через центральну точку системи вирівнювання потенціалів. Саме ця спільна точка є оптимальним місцем для встановлення пристроїв захисту від перенапруг.

У разі застосування сітчастої конфігурації, її металеві елементи не ізолюються від основної системи заземлення (див. рис. 3.5). Сітка інтегрується до загальної заземлювальної системи у кількох місцях одночасно. Такий тип структури, як правило, використовують у протяжних відкритих об'єктах, де присутнє значне число кабельних ліній та комунікацій, які підводяться з різних напрямків. Подібна реалізація забезпечує низький опір у широкому діапазоні частот, а також створює множинні короткозамкнені контури, що сприяють ефективному екрануванню магнітного поля поблизу чутливого обладнання.

Усі пристрої, розміщені в зоні захисту, з'єднуються між собою найкоротшими шляхами за допомогою декількох провідників, а також підключаються до металевих конструкцій та екранів, які формують межі захищеного простору. Для цього максимально використовуються вже наявні у споруді металеві елементи — такі як арматура перекриттів, стін та дахів, металеві решітки, неелектричне обладнання (трубопроводи, вентиляційні канали, кабельні лотки тощо).

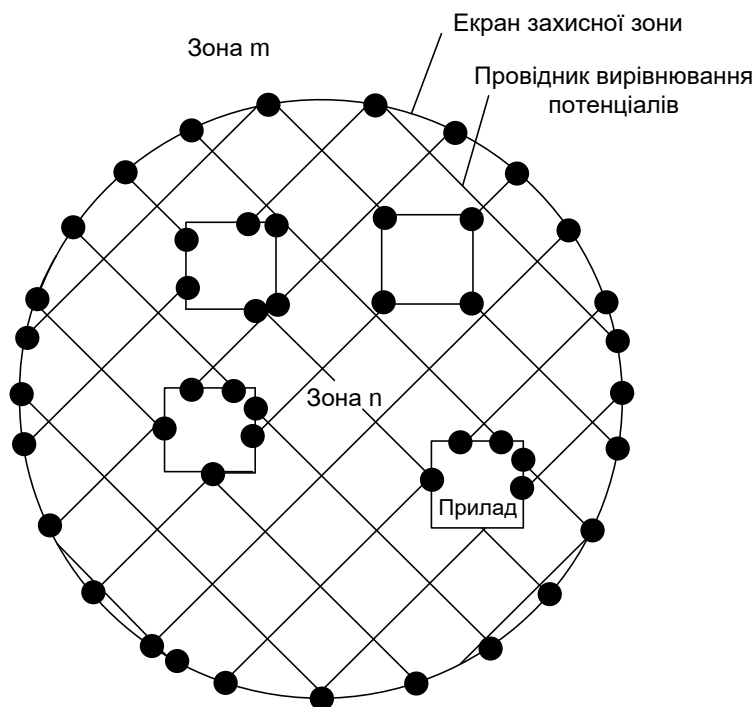


Рисунок 3.5. Сітчасте виконання системи вирівнювання потенціалів

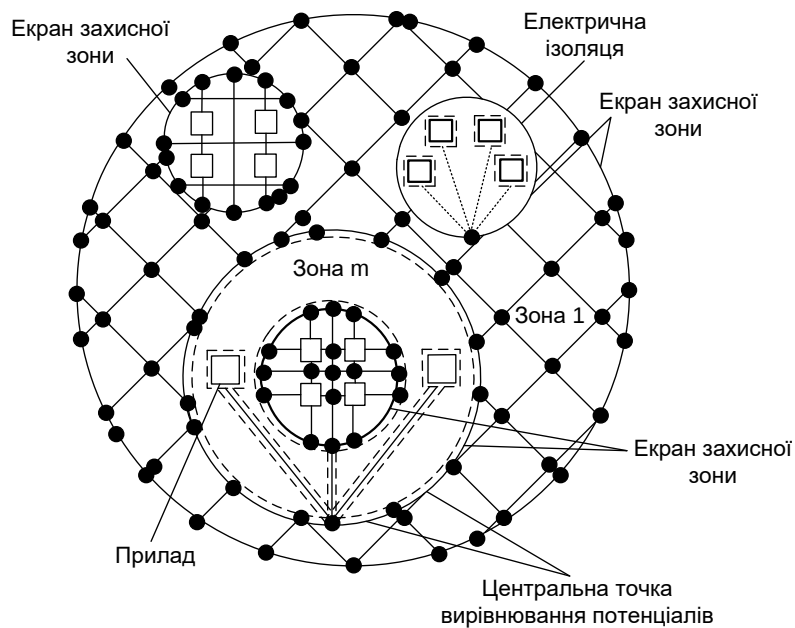


Рисунок 3.6. Комплексне виконання системи вирівнювання потенціалів

Комбіновані системи заземлення

Радіальна та сітчаста конфігурації систем заземлення можуть бути інтегровані в єдину комбіновану систему, як це ілюстровано на рисунку 3.6.

Зазвичай (хоча це не є обов'язковою вимогою) підключення локальної заземлювальної мережі до основної системи виконується на межі зони блискавкозахисту.

3.4. Система заземлення

Основна задача заземлювального пристрою блискавкозахисту – відвести як можна більшу частину струму блискавки (50% і більше) у землю. Решта струму розтікається по підходящим до будівлі комунікаціям (оболонкам кабелів, труб водопостачання і т.п.) При цьому не виникають небезпечні напруги на самому заземлювачі. Це завдання виконується сітчастою системою під будівлею і навколо неї. Заземлюючі провідники утворюють сітчастий контур, який об'єднує арматуру бетону внизу фундаменту. Це звичайний метод створення електромагнітного екрана внизу будівлі. Кільцевий провідник навколо будівлі і в бетоні на периферії фундаменту з'єднується з системою заземлення заземлювальними провідниками зазвичай через кожні 5м. Зовнішній заземлювач може бути з'єднаний із вказаними кільцевими провідниками.

Арматура бетону внизу фундаменту з'єднується з системою заземлення. Арматура повинна утворювати сітку, з'єднану з системою заземлення зазвичай через кожні 5м.

При стіканні струму I_z з заземлювача останній набуває деякого потенціалу U_z , пропорційний струму. Відношення $U_z/I_z = r$ є опором заземлювача, точніше, опір землі стікаючому з заземлювача струму, починаючи від поверхні провідників до деякої екіпотенціальної поверхні, де щільність струму і градієнт напруги дуже малі. Опір самих провідників відносно малий, і його враховують тільки при великій їх довжині. Поверхня землі в зоні розтікання струму також набуває деякого потенціалу, розподіл якого залежить від схеми і розмірів заземлювача, глибини закладення провідників, будови землі і її питомого опору. Отже, при стіканні струму з заземлювача між поверхнею землі і заземленими предметами виникають деякі напруги. Максимальна напруга між поверхнею землі (підлоги) і заземленим предметом, якого може торкнутися людина (але ще не

торкається), називається напругою дотику $U_{\text{дот}}$. Заземлювачем служить основа опори (природний заземлювач). Його опір r складається з двох частин: r_1 і r_2 . При стіканні струму I_3 потенціал заземлювача $U_3 = I_3(r_1 + r_2)$, а потенціал поверхні землі в точці 1 на відстані s від опори, відповідному довжині витягнутої руки, рівний $U_1 = I_3 r_2$. Напруга між опорою і поверхнею землі в точці 1 є напругою дотику: $U_{\text{дот}} = U_3 - U_1$. Напруга дотику складає частину потенціалу заземлювача U_3 . Відношення $U_{\text{дот}}/U_3 = \alpha$ називається коефіцієнтом розподілу потенціалу; він залежить від схеми і пристрою заземлювача.

У розглянутій схемі людина, що торкається до опори, виключена. Визначимо тепер напругу, прикладену до людини від руки до ніг, при її дійсному дотику до заземленого предмету. Для цього необхідно ввести в схему опір людини $r_{\text{л}}$ і опір розтікання струму від його ступнів в землю $r_{\text{с}}$. Оскільки опір $(r_{\text{л}} + r_{\text{с}}/2)$ у багато разів більше опору r_1 , то струм, що відгалужується в людину, складає малу частину струму I_3 , а напруга на опорі r_1 мало відрізняється від значення $I_3 r_1$ (за відсутності людини). Отже, напруга, прикладена до людини $U_{\text{л}}$ вийде рівним:

$$U_{\text{л}} = U_{\text{дот}} \cdot \frac{r_{\text{с}}}{r_{\text{с}} + r_{\text{л}}/2} = U_{\text{с}} \alpha \beta, \quad (3.1)$$

$$\text{де } \beta = \frac{r_{\text{с}}}{r_{\text{с}} + r_{\text{л}}/2}.$$

Як видно з останнього виразу, напруга, прикладена до людини, менше напруги дотику, оскільки верхній шар землі обмежує струм, що відгалужується в людину (опір взуття не враховується).

Людина може опинитися під напругою, і не торкаючись до заземлених предметів. Дійсно, в зоні розтікання струму між двома точками поверхні землі на відстані s , відповідній довжині кроку, є напруга $U_{\text{кр}} = U_2 - U_3$, яка називається напругою кроку.

Напруга $U_{\text{кр}}$ складає частину напруги заземлювача, тим меншу, чим рівномірний розподіл потенціалу по поверхні землі.

По аналогії з попереднім, людина може опинитися під напругою

$$U'_{\text{êä}} = U_{\text{êä}} \cdot \frac{r_{\text{ê}}}{r_{\text{ê}} + 2r_{\text{c}}}. \quad (3.2)$$

Опір розтікання струму від ступні людини в землю може бути приблизно визначено як опір еквівалентного диска з радіусом $R=8$ см, покладеного на поверхню землі і відповідним чином навантаженого, тобто

$$r_{\text{c}} = \frac{\rho_{\text{ñ}}}{4R} = \frac{\rho_{\text{ñ}}}{4 \cdot 0,08} \approx 3\rho_{\text{ñ}}, \quad (3.3)$$

де $\rho_{\text{ñ}}$ - питомий опір верхнього шару землі.

Напруги дотику і кроку називають частковими напругами, оскільки вони складають частину потенціалу заземлювача, тим меншу, чим рівномірно розподілений, потенціал по поверхні землі.

При проектуванні заземлюючого пристрою приходится спів ставляти очікувані напруги, прикладені до людини, з відповідними допустимими напругами для людини. Визначення цих напруг представляє чималі труднощі, оскільки вони залежать від багатьох умов, які не завжди можуть бути враховані і перевірені експериментально.

Дія електричного струму на людину залежить від значення струму і тривалості його дії, а також від шляху, по якому він проходить, і, нарешті, від фізичного стану людини. Найбільшу небезпеку представляє струм, що проходить через ділянку серця. На цьому шляху струм може виникнути при дотику людини до металевих предметів, що знаходяться під напругою. Струм проходить в цьому випадку від руки до ноги або обох ніг. Проходження струму від ноги до ноги менш небезпечно. Обмежимося тут розглядом дії на людину змінного струму з постійною амплітудою, і частотою 50 Гц.

Найменший струм, який відчуває людина, складає близько 1 мА. Цей струм прийнято називати порогом чутливості. Струм близько декількох міліампер викликає біль і мимовільне скорочення м'язів, по яких він проходить.

Ці явища прогресують у міру збільшення струму і тривалості його проходження. Струм в 10-15 мА людина ледве виносить протягом 1-2с. При деяких значеннях струму скорочення м'язів настільки сильно, що людина не в змозі розтискати гроно руки і відпустити електрод, через який струм входить в руку. У міру збільшення струму скорочення м'язів розповсюджується від рук до грудної клітки, внаслідок чого ускладнюється дихання і стає, нарешті, неможливим. Якщо не перервати струм протягом декількох хвилин, людина непритомніє і вмирає від задухи. Проте при своєчасному розриві кола струму дихання відновлюється або може бути відновлене штучними прийомами. Ніяких небезпечних наслідків при цьому не спостерігається.

Якщо трохи перевищити струм, що порушує дихання (внаслідок скорочення м'язів грудної клітки), може наступити смерть, навіть коли тривалість дії струму не перевищує декількох секунд, тобто часу, дуже малого, щоб порушення дихання представлялося небезпечним. Смерть настає в цьому випадку внаслідок вентрикулярної фібриляції серця, тобто порушення нормального ритму серця. Цей стан характеризується некоординованими, асинхронними скороченнями м'язової фібрильної тканини серця замість нормальних координованих скорочень. Фібриляція є ненормальних спонукань серця, але не пошкодження його. В стані фібриляції серце тріпоче, а не б'ється. Воно не прослуховується в стетоскоп. Припиняється циркуляція крові, і смерть настає протягом декількох хвилин.

Якщо фібриляція виникла, вона не припиниться сама. Штучне дихання тут неефективне. Єдиний спосіб відновити нормальну роботу серця полягає в своєчасному і умілому контршоці затухаючим струмом постійного напрямку за допомогою особливого апарату — дефібрилятора. Проте така можливість в практиці експлуатації електричних установок відсутня.

Можливість фібриляції серця повинна бути виключена відповідним проектуванням заземлюючих пристроїв. Для цього необхідно перш за все визначити поріг фібриляції або мінімальний струм, який може викликати

фібриляцію серця у людини. Цей струм є функцією тривалості дії і може бути визначений з наступного виразу:

$$I_{\text{ф}}^2 t = 0,027,$$

Звідки

$$I_{\text{ф}} = \frac{0,165}{\sqrt{t}}, \quad (3.4)$$

де $I_{\text{ф}}$ - поріг фібриляції (діюче значення синусоїдального струму), А;

t - тривалість проходження струму, с; 0,027 - встановлений з дослідів імпульс квадратичного струму.

Формулу (3.4) слід розглядати як наближений аналітичний вираз, справедливий при тривалості дії струму від 0,03 до 3 с.

Допустимі напруги прикладені до людини.

Не дивлячись на те, що критерієм небезпеки для людини при включенні його в електричне коло є значення струму, а не напруги, при проектуванні заземлюючих пристроїв користуються поняттям допустимих напруг. Вони можуть бути визначені множенням відповідних струмів на опір людини. Останній залежить від шляху проходження струму (від руки до руки або від руки до ніг), значення струму, напруги і інших чинників. Різні дослідники вказують на опори в межах від 500 Ом до декількох тисяч Ом.

Проведення струму в землю і забезпечення безпеки дотику до заземлених предметів для людей, обслуговуючих електроустановку і які знаходяться поблизу неї, є непростим завданням, особливо в глухо-заземлених мережах, де струм, на який повинен бути розрахований заземлювач, досягає багатьох тисяч і навіть десятків тисяч ампер, а також за несприятливих місцевих умов на майданчиках з великим питомим опором землі.

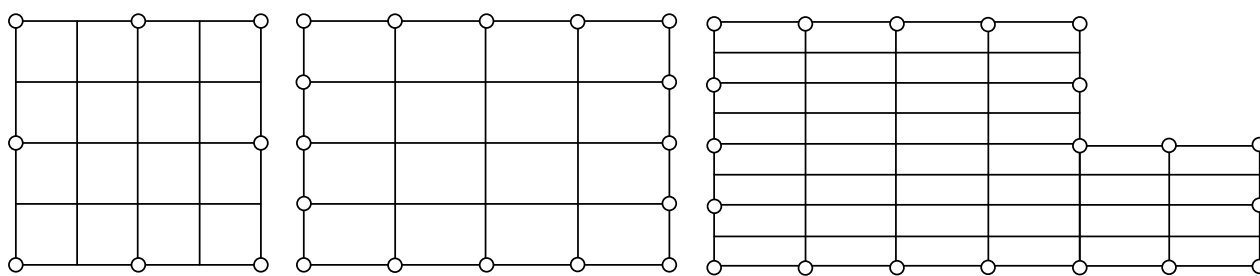
При проектуванні заземлюючого пристрою доводиться зважати на те, що основні умови, що визначають рішення поставленої задачі, задані і не можуть

бути змінені за бажанням проектувальника. Сюди відносяться: 1) значення струму замикання на землю, точніше, струму, на який повинен бути розрахований заземлювач; він визначається потужністю енергосистеми, напругою мережі і положенням проекрованої електроустановки в енергосистемі; 2) розміри майданчика, на якому повинен бути розміщений заземлювач, і параметри землі - основні величини, що визначають опір заземлювача, а також його потенціал $U_z = I_z r_z$; 3) тривалість проходження струму через заземлювач, або час відключення пошкодженої ділянки системи, що визначає допустиму напругу дотику. У розпорядженні проектувальника залишається дуже малий вибір засобів для забезпечення безпеки дотику до заземлених предметів. Вони зводяться до наступних:

а) використання всіх способів можливого зменшення опору заземлювача, наприклад, з потужністю збільшення числа і довжини вертикальних провідників; використання природних заземлювачів;

б) ретельне вирівнювання потенціалу на поверхні землі з метою зменшення напруги дотику при заданому потенціалі заземлювача;

в) штучне збільшення питомого опору верхнього шару землі в зовнішніх пристроях; застосування гумових килимів у внутрішніх устроях з метою зменшення струму, що проходить через людину.



а)

б)

в)

Рисунок 3.7 - Типові схеми заземлювачів типу сітки.

а — квадратна сітка; б — прямокутна сітка; в — сітка у вигляді неправильного багатокутника.

Перераховані способи зниження небезпеки дотику застосовують у кожному окремому випадку, погодившись з початковими умовами і вимогою економічності.

Можна використовувати сітку з оцинкованої сталі з шириною осередку зазвичай 5м, приварену або механічно прикріплену до прутів арматури зазвичай через кожен 1м. Кінці провідників сітки можуть служити заземлювальними провідниками для з'єднувальних смуг.

На рис. 3.7 та 3.8 показані приклади сітчастого заземлювального пристрою.

Зв'язок заземлювача і системи з'єднань створює заземлення. Основне завдання системи заземлення – зменшувати різницю потенціалів між будь-якими точками будівлі та обладнання. Ця задача вирішується створенням великої кількості паралельних шляхів для струмів блискавки і наведених струмів, які утворюють мережу з низьким опором в широкому спектрі частот. Численні і паралельні шляхи мають різні резонансні частоти. Безліч контурів з частотно-залежними опорами створюють єдину мережу з низьким опором для перешкод спектра що розглядається.

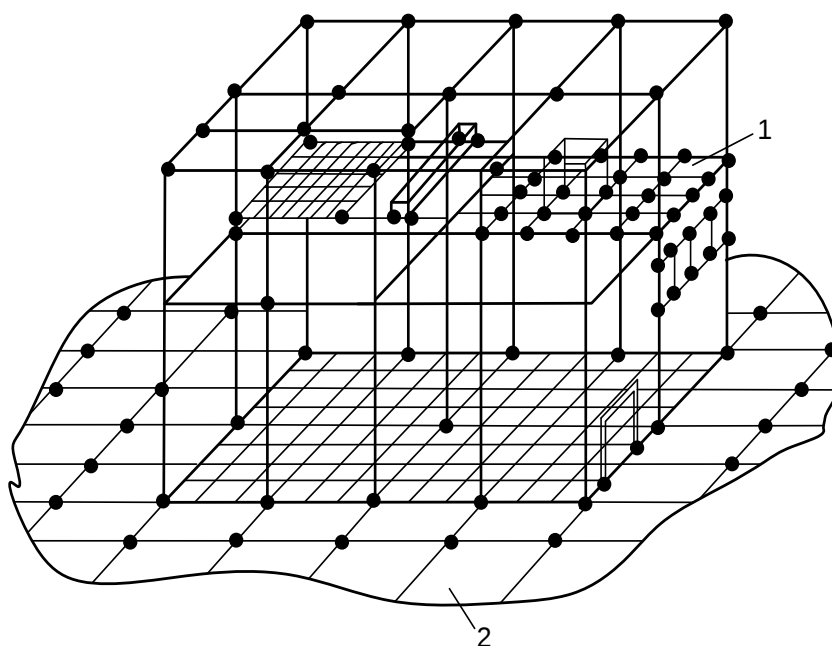


Рисунок 3. 7. сітковий заземлюючий пристрій будівлі:
1 – мережа з'єднань; 2 – заземлювач

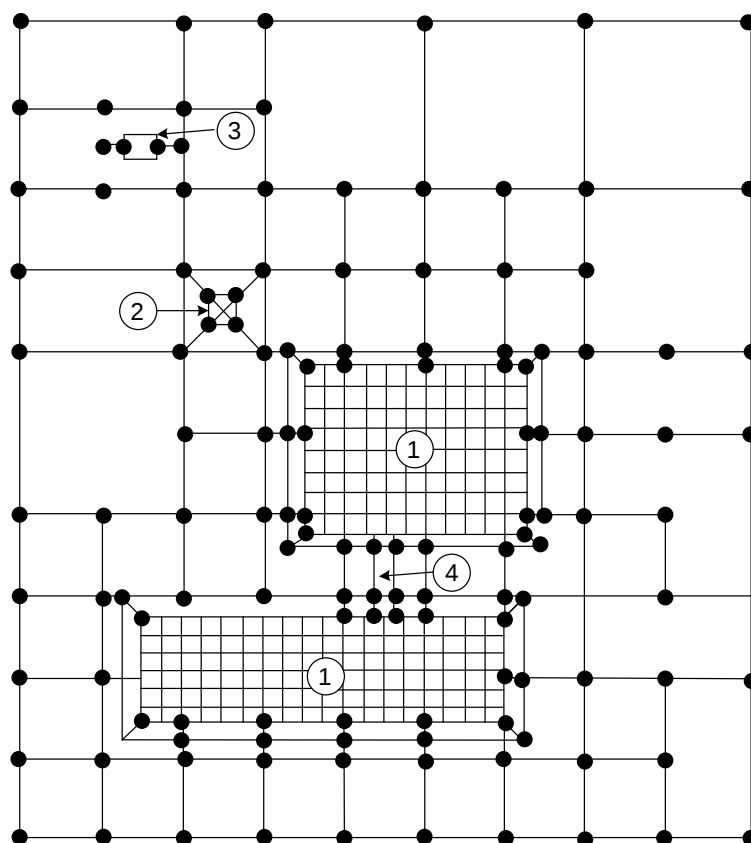


Рисунок 3.8. сітковий заземлюючий пристрій промислових будівель:
1 – будівля; 2 – башня; 3 – обладнання; 4 – кабельний лоток

Розрахунок опору контурного заземлюючого пристрою опори

Згідно ТЗ питомий опір ґрунту $\rho = 10 \cdot 10^2 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, тому природні заземлювачі не враховуються. В цьому випадку укладаються додатково штучні заземлювачі – контури на дні котловану, до яких додаються променеві заземлювачі.

Розрахунки опору контурного заземлювача.

$$R_{\text{конт}} = \frac{\rho}{2\pi^2 D_{\text{екв}}} \left(\ln \frac{8D_{\text{екв}}}{d} + \frac{\pi \cdot D_{\text{екв}}}{4l} \right) = \frac{10 \cdot 10^2}{2 \cdot 3,14^2 \cdot 5,3} \left(\ln \frac{8 \cdot 5,3}{0,012} + \frac{3,14 \cdot 5,3}{4 \cdot 2,5} \right) = 94 \text{ Ом},$$

$$\text{де } D_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{4A^2}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,7^2}{3,14}} = 5,3 \text{ м}.$$

Опір контуру з урахуванням збільшення в разі висихання ґрунту:

$$R_{\text{конт}} = 94 \cdot 1,1 = 103,4 \text{ Ом}$$

Опір виводу:

$$R_{\text{вив}} = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \ln \frac{4l}{d} = \frac{10 \cdot 10^2}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \ln \frac{4 \cdot 2,5}{0,012} = 428 \text{ Ом},$$

а з урахуванням висихання ґрунту:

$$R_{\text{вив}} = 428 \cdot 1,3 = 556,4 \text{ Ом}.$$

Опір системи “контур-чотири виводи”:

$$R_2 = \frac{R_{\text{конт}} \cdot \frac{R_{\text{вив}}}{n}}{R_{\text{конт}} + \frac{R_{\text{вив}}}{n}} \cdot \frac{1}{\eta} = \frac{103,4 \cdot \frac{556,4}{4}}{103,4 + 139,1} \cdot \frac{1}{0,8} = 740 \text{ Ом}$$

Опір природних заземлювачів (підножників):

$$R_1 = 20 \cdot \frac{5}{3} = 33,5 \text{ Ом}$$

Опір заземлюючого пристрою “контур з виводами – підножник” (під однією стійкою):

$$R_1 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1}{\eta} = \frac{33,5 \cdot 74}{33,5 + 74} \cdot \frac{1}{0,85} = 27 \text{ Ом}$$

Для всієї опори:

$$R_{\text{опори}} = \frac{R}{2} \cdot \frac{1}{\eta} = \frac{27}{2} \cdot \frac{1}{0,9} = 15 \text{ Ом}$$

Отримана величина опору заземлюючого пристрою опори відповідає вимогам ПУЕ, а також задовольняє вимогам забезпечення надійної роботи релейного захисту. За умовою чутливості релейного захисту ліній під час замикань на землю на опорі або з участю троса опір заземлюючих пристроїв не повинен перевищувати 50÷70 Ом. За умовою ефективності ОАПВ при однофазних коротких замиканнях на опорі або з участю троса опір заземлюючих пристроїв не повинен перевищувати 20÷80 Ом. Опір заземлюючих пристроїв

нормується також в залежності від висоти опори. В разі висоти більше 35 метрів величина опору повинна бути вдвічі менша даних [13], тобто 15 Ом.

За дії імпульсних струмів блискавки опір заземлення буде таким:

Коефіцієнт імпульсу $\alpha_i=0,5$ для контурного заземлювача:

$$R_{i.конт} = R_{конт} \cdot \alpha_i = 103,4 \cdot 0,5 = 51,7 \text{ Ом}$$

Імпульсний коефіцієнт для вертикального заземлювача приймаємо $\alpha_i=0,7$.

$$R_{i.вив} = R_{вив} \cdot \alpha_i = 556,4 \cdot 0,7 = 390 \text{ Ом}$$

Імпульсний опір системи “контур – чотири виводи”:

$$R_{i2} = \frac{51,7 \cdot \frac{390}{4}}{51,7 + 97,3} \cdot \frac{1}{0,7} = 48,265 \text{ Ом}$$

Імпульсний опір природних заземлювачів $\alpha_i=0,85$ для підножника, тому:

$$R_{i.підн.} = R_{підн.} \cdot \alpha_i = 0,85 \cdot 48 \cdot \frac{5}{3} = 68 \text{ Ом}$$

Опір чотирьох підножників:

$$R_{i1} = \frac{68}{4 \cdot 0,4} = 42,5 \text{ Ом}$$

Опір заземлюючого пристрою “контур з виводами – підножники” (під однією стійкою):

$$R_i = \frac{48,265 \cdot 42,5}{48,265 + 42,5} \cdot \frac{1}{0,75} = 30 \text{ Ом}$$

Для всієї опори:

$$R_{i.опори} = \frac{30}{2} \cdot \frac{1}{0,8} = 18,75 \text{ Ом}$$

3.5. Пристрої захисту від перенапруг

Пристрої захисту від перенапруг (ПЗП) встановлюються у місці перетину лінією електропостачання, управління, зв'язку, телекомунікації межі двох зон екранування. ПЗП координують для досягнення прийнятного розподілу навантаження між ними відповідно до їх стійкості до руйнування, а також для зменшення ймовірності руйнування устаткування, що захищається під впливом струму блискавки (рис. 3.9).

Рекомендується вхідні в будівлю лінії живлення і зв'язку з'єднувати однією шиною і розташовувати їх ПЗП якомога ближче одне до другого. Це особливо важливо в будівлях з неекрануючого матеріалу (дерева, цегли тощо). ПЗП вибираються і встановлюються так, щоб струм блискавки був в основному відведений у систему заземлення на межі зон 0 і 1.

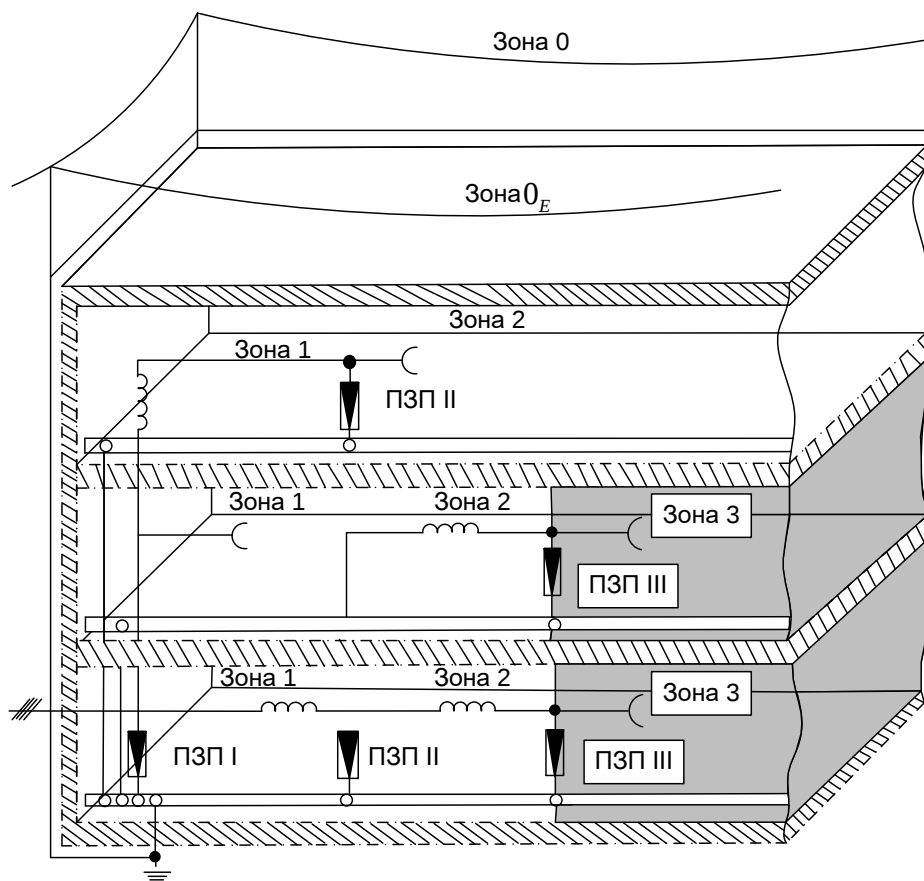


Рисунок 3.9. Приклад встановлення ПЗП в будівлі

Так як енергія струму блискавки в основному розсіюється на зазначеній межі, наступні ПЗП захищають лише від енергії і від впливу електромагнітного поля в зоні 1. Для найкращого захисту від перенапруг при установці ПЗП використовують короткі з'єднувальні провідники, виводи та кабелі.

Виходячи з вимог координації ізоляції в силових установках і стійкості до пошкоджень устаткування, що захищається, рівень ПЗП по напрузі вибирають нижче максимального значення, щоб вплив на об'єкт, що захищається, завжди був нижчий допустимої напруги. Якщо рівень стійкості до пошкоджень невідомий, використовують орієнтовний або отриманий у результаті випробувань рівень. Кількість ПЗП в захищаємій системі залежить від стійкості обладнання, яке захищається до пошкоджень і характеристик самих ПЗП.

3.6. Захист обладнання в існуючих будинках

Все більшого використання складного електронного обладнання у вже існуючих будівлях вимагає більш надійного захисту від блискавки і інших електромагнітних перешкод. Береться до уваги, що в існуючих будівлях необхідних заходів по захисту від блискавки вибирають з урахуванням особливостей будівлі, таких як конструктивні елементи, що існує силове та інформаційне обладнання.

Необхідність в захисних заходах і вибір їх визначають на підставі вихідних даних, які збирають на стадії передпроектних рішень. Приблизний перелік таких даних наведено в табл. 3.3-3.6.

На підставі аналізу ризику і даних, наведених у табл. 3.3-3.6, приймається рішення про необхідність побудови або реконструкції системи блискавкозахисту.

Таблиця 3.3 Вихідні дані про будівлі і навколишнє середовище

№ п/п	Характеристика
1	Матеріал будівлі – кам'яна кладка, кірпіч, дерево, залізобетон, стальний каркас
2	Одна будівля, або декілька відокремлених блоків з великою кількістю з'єднань
3	Низьке і плоске, або висока будівля (розміри будівлі)
4	З'єднана або арматура по всій будівлі?
5	З'єднана або електрична металева облицовка?
6	Розміри вікон
7	Є або зовнішня система блискавкозахисту?
8	Тип і якість зовнішньої системи блискавкозахисту
9	Тип ґрунту (камінь, земля)
10	Заземлені елементи сусідніх будівель (висота, відстань до них)

Таблиця 3.4 Вихідні дані про обладнання

№ п/п	Характеристика
1	Вхідні лінії (підземні або повітряні)
2	Антени або інші зовнішні пристрої
3	Тип системи живлення (високовольтна або низьковольтна, підземна або надземна)
4	Прокладка кабелів (число і розміщення вертикальних ділянок, спосіб прокладки кабелів)
5	Використання металевих кабельних лотків
6	Є або всередині будівлі електронне обладнання?
7	Є або провідники, які відходять до інших будівель?

Таблиця 3.5 Характеристики обладнання

№ п/п	Характеристика
1	Тип комунікацій між інформаційним обладнанням (екрановані або неекрановані багатожильні кабелі, коаксіальні кабелі; аналогові або цифрові, симетричні або несиметричні; оптоволоконні лінії)
2	Рівні стійкості обладнання до пошкоджень

Таблиця 3.6 Інші дані що відносяться до вибору концепції захисту

№ п/п	Характеристика
1	Чи з'єднані металеві віконні рами?
2	Матеріал криші (метал, бетон)
3	Конфігурація мережі (TN, TT або IT)
4	Розміщення електронного обладнання в будівлі

5	Розміщення з'єднань електронного обладнання з загальною системою заземлення
---	---

Основне завдання – знаходження оптимального рішення щодо поліпшення зовнішньої системи блискавкозахисту і по інших заходах.

Удосконалення зовнішньої системи блискавкозахисту досягається:

- 1) включенням зовнішнього металевого облицювання і даху будівлі в систему блискавкозахисту;
- 2) використанням додаткових провідників, якщо арматура сполучена по всій висоті будівлі – від даху через стіни до заземлення будівлі;
- 3) зменшенням проміжків між металевими спусками і зменшенням кроку комірки блискавкоприймача;
- 4) встановленням з'єднувальних смуг (гнучких плоских провідників) в місцях стиків між сусідніми, але структурно розділеними блоками; відстань між смугами має бути вдвічі менше відстані між спусками;
- 5) з'єднанням протяжного проводу з окремими блоками будівлі; зазвичай з'єднання необхідні на кожному куті кабельного лотка, і сполучні смуги виконуються як можна коротше;
- 6) захистом окремими блискавкоприймачами, з'єднаними із загальною системою блискавкозахисту, якщо металеві частини даху потребують захисту від прямого удару блискавки; блискавкоприймач розташовується на безпечній відстані від вказаного елемента.

Ефективними заходами щодо зниження перенапруг є раціональна прокладка і екранування кабелів. Ці заходи тим важливіші, чим менше екранування від зовнішньої системи блискавкозахисту.

Великих петель можна уникнути, прокладаючи спільно силові кабелі і екрановані кабелі зв'язку. Екран з'єднується з обладнанням на обох кінцях.

Будь-яке додаткове екранування, наприклад, прокладка проводів і кабелів в металевих трубах або лотках між поверхами, знижує повний опір загальної

системи з'єднань. Ці заходи найбільш важливі для високих або протяжних будинків, або коли обладнання має працювати особливо надійно.

Кращими місцями встановлення ПЗП є межі зон 0 / 1 і зон 0/1/2 відповідно, розташовані на вході в будівлю.

Як правило, загальна мережа з'єднань не використовується в робочому режимі як зворотній провідник силової або інформаційної мережі.

Прикладами такого обладнання є різні зовнішні прилади, такі як антени, метеорологічні датчики, камери зовнішнього спостереження, зовнішні датчики на промислових об'єктах (Датчики тиску, температури, швидкості потоку, положення клапана і т.д.) і будь-яке інше електричне, електронне та радіоустаткування, встановлене зовні на будівлі, щоглі, або промислового резервуарі.

По можливості, блискавковідвід встановлюється таким чином, щоб обладнання було захищено від прямого попадання блискавки. Окремі антени залишаються абсолютно відкритими з технологічних міркувань. Деякі з них мають вбудовану систему блискавкозахисту і можуть без ушкоджень витримати влучення блискавки. Інші, менш захищені типи антен, можуть вимагати встановлення ПЗП на живильному кабелі, щоб запобігти попаданню струму блискавки по кабелю антени в приймач або передавач. За наявності зовнішньої системи блискавкозахисту кріплення антени приєднуються до неї.

Наведення напруги в кабелях між будівлями можна запобігати, прокладаючи їх у сполучених металевих лотках, або трубах. Всі кабелі, що йдуть до пов'язаного з антеною устаткування, прокладаються з виведенням з труби в одній точці. Слід звернути максимальну увагу на екрануючі властивості самого об'єкта і прокладати кабелі в його трубчастих елементах. Якщо це неможливо, як у випадку з технологічними ємностями, кабелі прокладають зовні, але як можна ближче до об'єкта, максимально використовуючи при цьому такі природні екрани як металеві сходи, труби та ін. У щоглах з L-подібними кутовими елементами кабелі розміщуються всередині кута для максимального природного

захисту. У крайньому випадку, поряд з кабелем антени розміщується еквіпотенціальний з'єднувальний мідний провідник з мінімальним поперечним перерізом 6 мм^2 . Всі ці заходи знижують наведену напругу в петлі, утвореної кабелями і будівлею, і відповідно зменшують імовірність пробоя між ними, тобто ймовірність виникнення всередині устаткування між електромережею і будівлею.

Зв'язки між будівлями поділяються на такі типи: силові кабелі з металевою оболонкою, металеві (кручена пара, хвилеводи, коаксіальні і багатожильні кабелі) і оптоволоконні кабелі. Захисні заходи залежать від типів кабелів, їх кількості, а також від того, чи з'єднані системи блискавкозахисту двох будівель.

Повністю ізольований оптоволоконний кабель (без металевого армування, фольги для захисту від вологи або сталевих внутрішнього провідника) може бути застосований без додаткових заходів захисту. Використання такого кабелю є найкращим варіантом, тому що забезпечує повний захист від електромагнітних впливів. Проте якщо кабель містить протяжний металевий елемент (за винятком жил дистанційного живлення), останній на вході в будівлю приєднується до загальної системи вирівнювання потенціалів сполук і не має напряду входити в оптичний приймач або передавач. Якщо будівлі розташовані близько одна до одної і їх системи блискавкозахисту не з'єднані, краще використовувати оптоволоконний кабель без металевих елементів щоб уникнути більших струмів в цих елементах і їх перегріву. Якщо ж є з'єднаний з системою блискавкозахисту кабель, то можна використовувати оптичний кабель з металевими елементами, щоб відвести частину струму від першого кабелю.

Металеві кабелі між будинками з ізольованими системами блискавкозахисту. При цьому з'єднанні систем захисту пошкодження досить вірогідні на обох кінцях кабелю внаслідок проходження по ньому струму блискавки. Тому на обох кінцях кабелю необхідно встановлювати ПЗП, а також, де можливо, слід сполучати системи блискавкозахисту двох будівель і прокладати кабель у з'єднаних металевих лотках.

Металеві кабелі між будівлями із сполученими системами блискавкозахисту. Залежно від числа кабелів між будинками, захисні заходи можуть включати з'єднання кабельних лотків (при декількох кабелях), екранування або застосування гнучких метало-шлангів для багатожильних кабелів управління (при великій кількості кабелів). Приєднання обох кінців кабелю до зв'язаних систем блискавкозахисту часто забезпечує достатнє екранування, особливо якщо кабелів багато, і струм розподілиться між ними.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Розділ з охорони праці бакалаврської роботи направлений на розробку системи заходів з удосконалення системи бликавкозахисту. На оперативно-ремонтний персонал, що здійснює їхнє обслуговування, впливають такі фізичні, хімічні та трудового процесу небезпечні та шкідливі виробничі фактори [1, 2]:

фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо);

хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил);

фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

4.1 Технічні рішення з безпечної організації виконання робіт

4.1.1 Технічні рішення щодо безпечної організації робочих місць

Цих правил потрібно дотримуватись під час виконання таких робіт [3]:

- на кабельних та повітряних лініях зв'язку;
- на обладнанні і пристроях засобів диспетчерського та технологічного керування (ЗДТК), розміщених в апаратних залах, кросах, радіовузлах зв'язку і приміщеннях на енергетичних підприємствах;
- в пристроях зв'язку, установках високочастотного зв'язку, релейного захисту і телемеханіки по повітряних лініях електропередавання;
- в установках промислового телебачення і обчислювальних приладах.

Керівником робіт, що виконуються на лініях зв'язку, а також нижчеперелічених, слід призначати працівника з групою V зі складу керівників або спеціалістів, зокрема, для таких робіт:

- з демонтажу, встановлення опор всіх типів і замінювання проводів (тросів) в охоронній зоні ПЛ, що перебувають під напругою, а також у місцях перетинання з іншими ПЛ, фідерними радіотрансляційними лініями I класу, із залізницями та шосейними дорогами, судноплавними річками;

- із замінювання і монтажу проводів ПЛЗ у зоні наведеної напруги, комунікацій та інтенсивного руху транспорту;

- з улаштування щоглових переходів, замінювання кінцевих і кутових опор;

- з випробування КЛЗ;

- з апаратурою НПП;

- на фільтрах приєднання, без вмикання заземлювального ножа, за винятком оглядів фільтрів без їх розкривання.

Працівнику, який видає наряд, дозволяється призначати керівника робіт і під час проведення інших робіт, крім зазначених в цьому пункті.

Допускається суміщення керівником робіт зі складу виробничих працівників обов'язків допускателя у пристроях ЗДТК, якщо для підготовки робочого місця не вимагається оперувати комутаційними апаратами (крім ножа фільтра приєднання). У цьому разі допускатч може знімати запобіжники і разом з одним із членів бригади встановлювати переносні заземлення.

У пристроях ЗДТК за розпорядженням можна виконувати такі роботи:

- на вимкнених ПЛЗ і КЛЗ, які не підлягають впливу ліній електропередавання і фідерних радіотрансляційних ліній I класу;

- ремонт, монтаж і налагодження пристроїв ЗДТК, крім апаратури в НПП і апаратури ВЧ-зв'язку, розміщеної в РУ, включаючи елементи обробки і приєднання високочастотних каналів зв'язку.

Виконувати роботи на ділянках перетинання і зближення кабельних або повітряних ліній зв'язку з повітряними лініями електропередавання, що перебувають під напругою, слід з врахуванням вимог цих Правил.

Влаштування перетинів і ремонт проводів ПЛЗ, що перетинають проводи контактної мережі електрифікованих залізниць, трамваїв та тролейбусів, необхідно виконувати після вимкнення і заземлення на місці робіт контактної мережі відповідно до розробленого ППР та у присутності представника дистанції (району) контактної мережі.

У разі перетягування проводів зв'язку над проводами ліній електропередавання на вулицях населених пунктів слід виставляти сигнальників з прапорцями для попередження перехожих і водіїв транспорту.

У разі натягування та регулювання проводів зв'язку, що проходять під лінією електропередавання, слід виконувати такі вимоги. Перед початком виконання робіт необхідно перевірити відсутність напруги на проводах ПЛЗ (між проводами і землею). Забороняється у разі виявлення на проводах ПЛЗ напруги понад 42 В починати роботу до з'ясування причини появи напруги і до зниження її нижче 42 В.

У разі виконання робіт на ПЛЗ, які перебувають під наведеною напругою, слід дотримуватись вимог щодо робіт на ПЛ під наведеною напругою. Заземлення проводів ПЛЗ, що знаходяться під наведеною напругою, виконується через дренажні котушки за допомогою штанг для накладання переносних заземлень.

У разі виконання робіт на ПЛЗ під наведеною напругою проводи, які розкочують і монтують, слід заземлити на початку прольоту і безпосередньо біля місця роботи. Провід, який лежить на землі, не повинен доторкатись до лінійних проводів і проводів, розкочених на наступних ділянках. Регулювати стрілу провисання і кріпити провід на ділянці слід до з'єднання його з проводом попередньої ділянки. Перед з'єднанням окремих відрізків проводи на місці робіт слід заземлювати з обох боків від місця з'єднання.

Обслуговування, налагодження і ремонт обладнання високочастотних установок і блискавкозахисних тросів, розташованих в РУ або на ПЛ понад 1000 В, повинні виконувати два працівники, один з яких повинен мати групу IV.

Дозволяється працювати на діючій апаратурі з розкриванням панелей (блоків) одному працівнику з групою III із застосуванням гумового діелектричного килимка. Перед початком виконання робіт необхідно перевірити відсутність напруги на з'єднувальній високочастотній лінії. Забороняється працювати під напругою понад 42 В.

Здійснювати зміни в схемах, розбирання та складання високочастотного тракту і усунення несправності в них можна тільки після того, як знято напругу з елементів оброблення та приєднання ПЛ. У разі проведення робіт на кабелі і фільтрі приєднання достатньо увімкнути заземлювальний ніж на нижній обкладці конденсатора зв'язку.

Забороняється від'єднувати заземлювальні провідники від захисних пристроїв, апаратури та інших елементів обладнання високочастотної установки, що підімкнена до ПЛ, без заземлення нижньої обкладки конденсатора зв'язку.

Підмикати та вимикати прилади в колі між конденсаторами зв'язку та фільтром приєднання дозволяється тільки тоді, коли нижню обкладку конденсатора зв'язку заземлено за допомогою заземлювального ножа. У разі багаторазового перез'єднання приладів в процесі вимірювань нижня обкладка конденсатора зв'язку кожного разу повинна заземлюватись. Вимірювання тривалістю не більше 1 год може проводити за розпорядженням один працівник з групою IV під наглядом оперативного працівника або працівника з групою IV зі складу оперативно-виробничих працівників. Ці вимірювання дозволяється проводити тільки всередині фільтра приєднання без вимкнення розрядника при вимкненому заземлювальному ножі нижньої обкладки конденсатора зв'язку. У цьому разі прилади слід заземлювати; вимірювання необхідно проводити з використанням електрозахисних засобів (діелектричне взуття та рукавички, інструмент з ізолювальними рукоятками).

4.1.2 Електробезпека

Основні технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

- 1) виконання технічних заходів під час підготовки робочого місця,
- 2) застосування під час обслуговування електроустановок електрозахисних засобів.

1) Під час підготовки робочого місця для роботи, яка вимагає знімання напруги, слід виконати у зазначеній послідовності такі технічні заходи:

- провести необхідні вимкнення і вжити заходів щодо запобігання помилковому або самочинному вмиканню комутаційної апаратури;
- вивісити заборонні плакати на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційної апаратури. За необхідності струмопровідні частини слід огороджувати;
- приєднати до "землі" переносні заземлення;
- перевірити відсутність напруги на струмопровідних частинах, на які слід встановити заземлення. Якщо переносні заземлення планується ставити поблизу струмопровідних частин, що не входять в зону робочого місця, то їх огороження слід встановити до перевірки відсутності напруги та заземлення;
- встановити заземлення (увімкнути заземлювальні ножі, приєднати до вимкнених струмопровідних частин переносні заземлення) безпосередньо після перевірки відсутності напруги та вивісити плакати "Заземлено" на приводах вимикальних комутаційних апаратів;
- огородити, у разі необхідності, робочі місця або струмопровідні частини, що залишились під напругою, і вивісити на огороженнях плакати безпеки. Залежно від місцевих умов струмопровідні частини огорожують до або після їх заземлення.

2) Під час обслуговування електроустановок повинні застосовуватись засоби захисту від ураження електричним струмом, від впливу електричного поля, а також засоби індивідуального та колективного захисту. Ізолювальні

електрозахисні засоби поділяються на основні і додаткові. До основних ізолювальних електрозахисних засобів, які повинні застосовуватись в електроустановках напругою понад 1000 В, відносяться: ізолювальні штанги всіх видів, ізолювальні кліщі, електровимірювальні кліщі, показчики напруги, пристрої для створення безпечних умов праці під час проведення випробувань і вимірювань в електроустановках (показчики напруги для фазування, показчики пошкодження кабелів та ін.); до додаткових – діелектричні рукавички, діелектричне взуття, діелектричні килими, ізолювальні підставки, ізолювальні накладки, ізолювальні ковпаки, штанги для перенесення та вирівнювання потенціалу, сигналізатори напруги, захисні огороження (щити, ширми), переносні заземлення, плакати та знаки безпеки та інші засоби захисту.

Крім наведених вище засобів захисту в електроустановках повинні застосовуватись такі ЗІЗ: захисні каски – для захисту голови; захисні окуляри і щитки – для захисту очей і обличчя; протигази і респіратори – для захисту органів дихання; рукавиці – для захисту рук; запобіжні пояси та страхувальні канати.

Вибір необхідних електрозахисних засобів, засобів захисту від дії ЕП, а також ЗІЗ регламентується [3], а також іншими відповідними нормативними документами (НД) з урахуванням місцевих умов. У разі застосування основних ізолювальних електрозахисних засобів достатньо використовувати один додатковий засіб, крім випадків, що обумовлені в цих Правилах. У разі необхідності захисту працівника від напруги кроку дозволяється використовувати діелектричне взуття без застосування основних засобів захисту.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні встановлюють оптимальну та допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху

повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення.

Таблиця 4.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт Па.

Період року	Категорія робіт	Допустимі		
		t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	Середньої важкості Па	18-27	65 при 26°C	0,2-0,4
Холодний		17-23	до 75%	не більше 0,3

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено:

1. Температура внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони та зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні параметрів мікроклімату не повинні бути більше ніж на 2°C за діапазон норм.

2. Якщо температура поверхонь вище або нижче оптимальної температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше їм.

3. Для забезпечення нормованих значень руху повітря проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

4.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил при свердлінні отворів і різанні металевих виробів їх ГДК наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони в кабіні проектувальника установки

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
Пил нетоксичний	Максимально разова	Середньо добова	4
	0,5	0,15	

Для забезпечення параметрів мікроклімату та складу повітря робочої зони відповідно до проекту передбачено-періодичне провітрювання приміщень та використання засобів індивідуального захисту.

4.2.3 Виробниче освітлення

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормуємо освітлення у виробничих приміщеннях. Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «г».

Нормовані значення освітленості наведені в таблиці 4. 3.

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 4,5 метра.

Таблиця 4.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харакка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	г	середній великий великий	світлий світлий середній	-	200	4	2,4

При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

4.2.4 Виробничий шум

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки».

Основним джерелом шуму є механічний інструмент: дрелі, перфоратори, зварювальний апарат. Допустимі рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку на робочих місцях в виробничих приміщеннях і на території підприємств представлені в таблиці 4.4.

Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Таблиця 4.4 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму потрібно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі.
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

- організувати перерви в роботі (15 хвилин), після кожної години роботи з пристроями що є джерелом шуму;

4.2.5 Виробничі вібрації

Джерелами вібрацій в умовах, що розглядаються в проекті, являються насосні агрегати, вентилятори, дрілі, болгарки, перфатори, які відносяться до типу загальної вібрації.

Основні параметри вібрації, такі як середньоквадратичне значення віброприскорення та віброшвидкості, логарифмічні рівні приведені у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості

Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативні, корекційовані по частоті та еквівалентні корекційовані значення			
		Віброприскорення		Віброшвидкість	
		$\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$	ДБ	$\text{м} \cdot \text{с}^{-2} \cdot 10^{-2}$	ДБ
За	Z_o, Y_o, X_o	0,1	100	0,2	92

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено:

- динамічне погашення вібрації - приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи;
- зміна конструктивних елементів машин;
- застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

4.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують ССБТ «Пожежна безпека. Загальні вимоги». Типові правила пожежної безпеки для промислових підприємств і інструкції на окремих об'єктах.

Приміщення п/ст за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відноситься до категорії Д – речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорій приміщень В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В з зонами П-ІІІ (місця, де зберігаються тверді горючі речовини).

Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів – сукупність властивостей, що характеризують їхню здатність до виникнення і поширення горіння. Наслідком горіння, залежно від його швидкості та умов протікання, можуть бути пожежа або вибух. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначають показниками, вибір яких залежить від агрегатного стану речовини (матеріалу), та умов їхнього застосування.

Будівля, в якій розташовані приміщення п/ст, характеризується ІІ ступенем вогнестійкості. До ІІ ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 наведено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площадки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між поверхові (у т.ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки)				пли-ти, насти-ли, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	RE 15 M0	R 30 M0

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2002 наведено в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвилинах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбуршлюзу, не нижче
Стіни	2	REI 60	2	1
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	2	REI 60	2	1

Найбільшу відстань до евакуаційного виходу визначаємо за об'ємом приміщення та ступені вогнестійкості будівлі.

В виробничому приміщенні, відстань при щільності людського потоку в загальному проході, чол/м² наступна: до 1 – 100 м².

Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських будинків і споруд слід приймати за таблицею 4.8 (знаменник).

Таблиця 4.8

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будинків, сільськогосподарських будівель і споруд

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IIIa, IIIб, IV, IVa, V
I, II	6/9	8/9	10/12

На території п/ст встановлено 18 вогнегасників ВП-5.

ВИСНОВКИ

У ході виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи були досліджені теоретичні та практичні аспекти побудови ефективної системи блискавкозахисту для електричних підстанцій. Отримані результати дозволяють сформулювати такі основні висновки:

1. Проведений аналіз показав, що блискавкові розряди становлять серйозну загрозу для безперебійної роботи електричних підстанцій, зумовлюючи як прямі пошкодження обладнання, так і вторинні електромагнітні впливи, які негативно позначаються на роботі систем управління, автоматики та зв'язку.
2. Встановлено, що ефективність захисту підстанції значною мірою залежить від правильного вибору та оптимального розміщення елементів блискавкозахисної системи, зокрема блискавкоприймачів, струмовідводів і заземлювальних пристроїв.
3. Розраховано параметри зовнішньої системи блискавкозахисту, які забезпечують необхідний рівень безпеки та зменшують імовірність ураження обладнання. Проведено вибір типів блискавковідводів відповідно до конструктивних особливостей підстанції.
4. Виконане моделювання показало, що запропонована система здатна суттєво зменшити рівень перенапруг, а також покращити електромагнітну сумісність обладнання, що є критичним чинником у забезпеченні безперебійної роботи підстанції.
5. Обґрунтовано технічну доцільність удосконалення існуючих систем блискавкозахисту шляхом впровадження сучасних технічних рішень, що відповідають актуальним вимогам нормативних документів та умовам експлуатації.
6. Результати роботи можуть бути впроваджені при проєктуванні нових підстанцій, а також у процесі модернізації діючих об'єктів з метою підвищення їх експлуатаційної надійності, енергобезпеки та захисту персоналу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Собчук В.С., Бурикін О.Б., Собчук Н.В. Перенапруги і блискавкозахист в електричних системах: Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 145 с.
2. В. С. Собчук, Н. В. Собчук, О. В. Слободянюк. Нормування тривалості перебування людини в зоні впливу електричного поля високовольтних установок промислової частоти. Режим доступу: http://archive.nbuv.gov.ua/e-journals/VNTU/2012_4/2012-4.files/uk/12vssoif_ua.pdf
3. ІЕС 62305-1:2010. Захист від блискавки. Частина 1: Загальні принципи. – Женева: Міжнародна електротехнічна комісія, 2010. – 62 с.
4. ІЕС 62305-3:2010. Захист від блискавки. Частина 3: Фізичні пошкодження об'єктів і небезпека для життя. – Женева: ІЕС, 2010. – 134 с.
5. ІЕС 61312-1:1995. Захист від електромагнітного імпульсу блискавки. Частина 1: Загальні принципи. – Женева: ІЕС, 1995. – 89 с.
6. Босенко, В. І. Блискавкозахист електроустановок і споруд / В. І. Босенко. – Київ: Либідь, 2015. – 264 с.
7. Могильний, Б. В. Електробезпека: підручник / Б. В. Могильний, М. О. Могильний. – Київ: Каравела, 2017. – 312 с.
8. ДСТУ EN 50522:2014. Улаштування заземлення електроустановок. – [Чинний від 2014-10-01]. – Київ: Мінекономрозвитку України, 2014. – 74 с.
9. Губаренко, В. О. Електромагнітна сумісність і захист електрообладнання від імпульсних перенапруг / В. О. Губаренко. – Харків: НТУ "ХПІ", 2016. – 186 с.
10. Гринчук, О. О. Захист об'єктів від блискавки: методичні вказівки / О. О. Гринчук. – Львів: Видавництво НУ "ЛП", 2021. – 58 с.
11. Сметанін, С. Ю. Сучасні методи аналізу і розрахунку блискавкозахисту промислових об'єктів / С. Ю. Сметанін. – Одеса: Енергія, 2019. – 147 с.
12. Хомутов, С. В. Заземлення і блискавкозахист: навчальний посібник / С. В. Хомутов. – Дніпро: УДХТУ, 2020. – 110 с.

13. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.
14. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.
15. ДНАОП 1.1.10-1.01-97 Правила безпечної експлуатації електроустановок. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=21826.
16. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

Назва роботи: «Розробка та вдосконалення системи заземлення для підстанцій 110/35/10кВ»

Тип роботи: Бакалаврська кваліфікаційна робота
(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд, інше (вказати))

Підрозділ: Кафедра електричних станцій та систем
(кафедра, факультет (інститут), навчальна група)

Керівник: к.т.н., доцент кафедри ЕСС Собчук Н. В.
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

StrikePlagiarism	
Оригінальність	83
Загальна схожість	17

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- ☐ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи

Автор _____
(підпис)

Архипов А. О.

(прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Робота допущена до захисту

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Вишневський С.Я

(прізвище, ініціали)

Експерт

(за потреби)

(підпис)

(прізвище, ініціали, посада)



Проектування та удосконалення системи блискавкозахисту для підвищення надійності підста

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕСМ-23мс

Спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

за ОП «Електроенергетика та електротехніка», Архипов А. О.

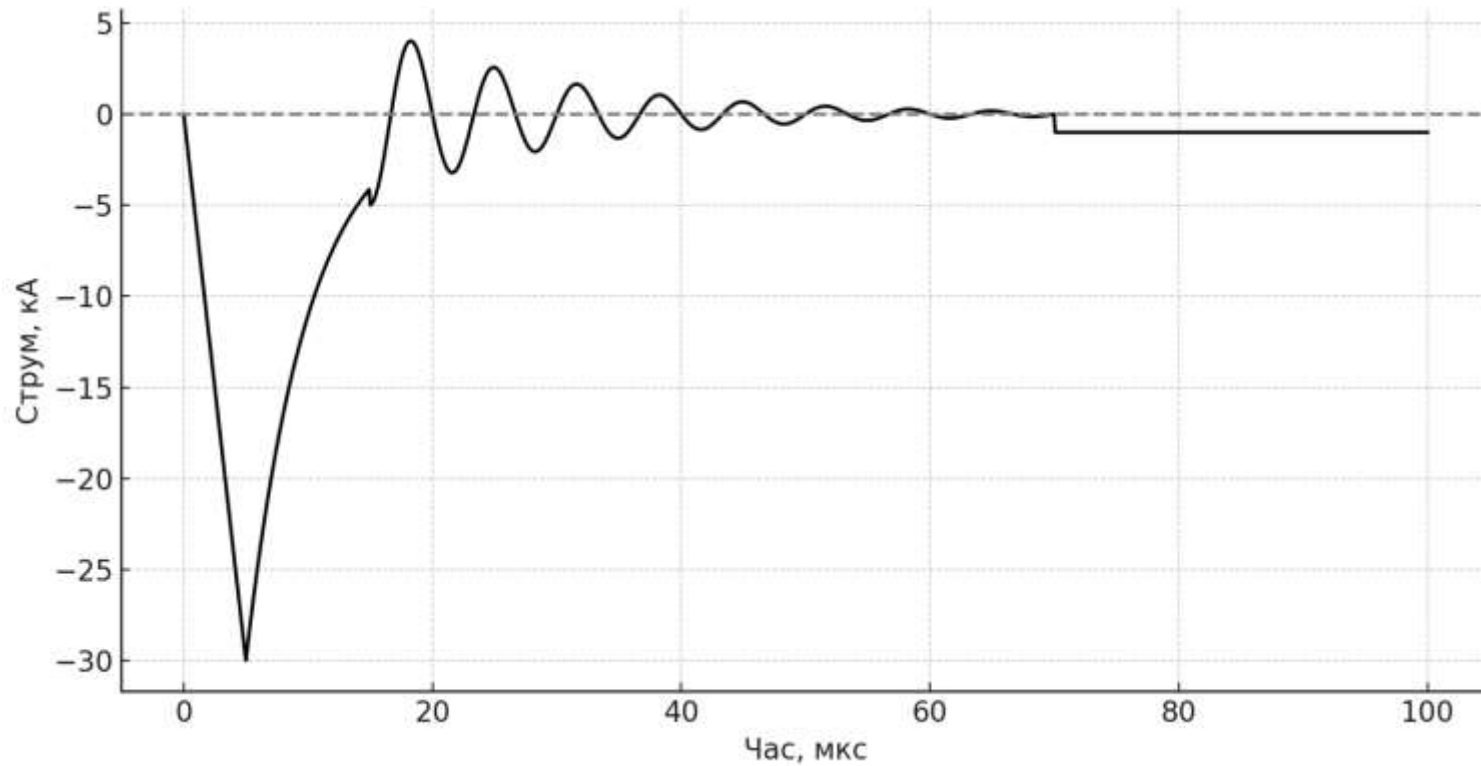
Керівник: к.т.н., доц., доцентка каф. ЕСС Собчук.Н.В

Мета роботи Метою даної бакалаврської кваліфікаційної роботи є розроблення технічно обґрунтованих рішень щодо проєктування та вдосконалення системи блискавкозахисту для підвищення надійності функціонування електричних підстанцій в умовах зростаючого ризику атмосферних перенапруг.

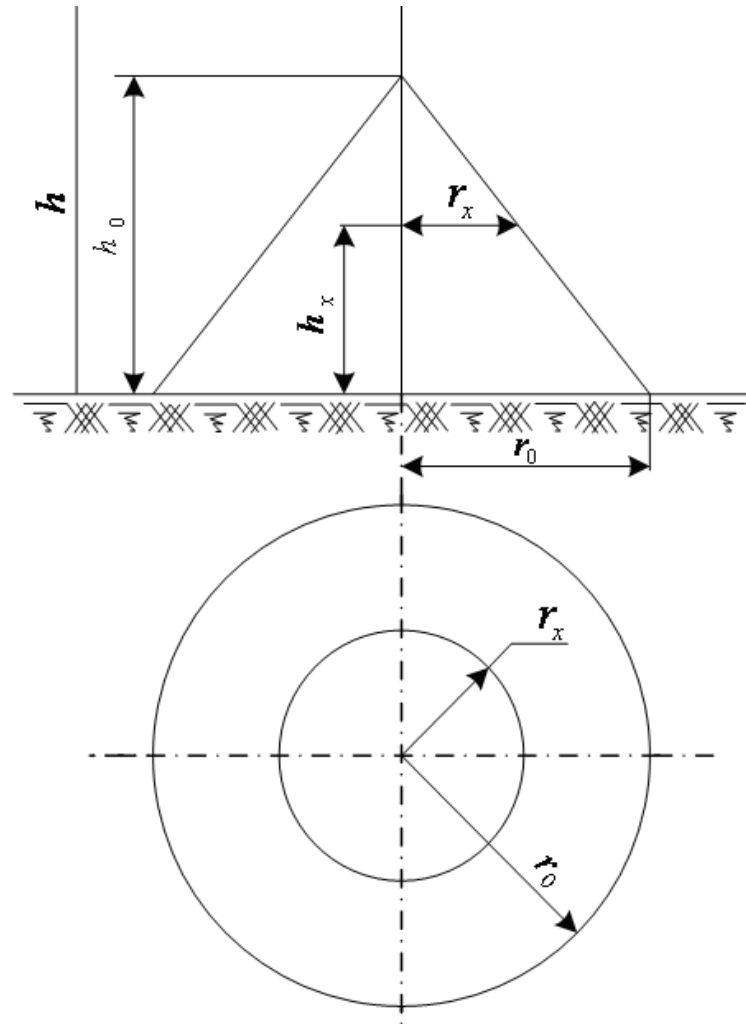
Задачі дослідження Для досягнення поставленої мети в межах дослідження необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати природу утворення блискавкових розрядів і їхній вплив на об'єкти енергетичної інфраструктури, зокрема підстанції.
2. Розглянути існуючі типи та елементи систем блискавкозахисту, з урахуванням сучасних нормативно-технічних вимог.
3. Виконати вибір і розрахунок параметрів блискавковідводів, струмовідводів і заземлювальних пристроїв для заданої конфігурації підстанції.
4. Розробити оптимальну схему розташування елементів системи блискавкозахисту з урахуванням конструктивних особливостей об'єкта.
5. Провести моделювання захисної дії обраної системи за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення.
6. Обґрунтувати технічну та економічну доцільність впровадження вдосконаленої системи блискавкозахисту.
7. Надати практичні рекомендації щодо підвищення рівня електромагнітної сумісності та безпеки експлуатації обладнання підстанції.

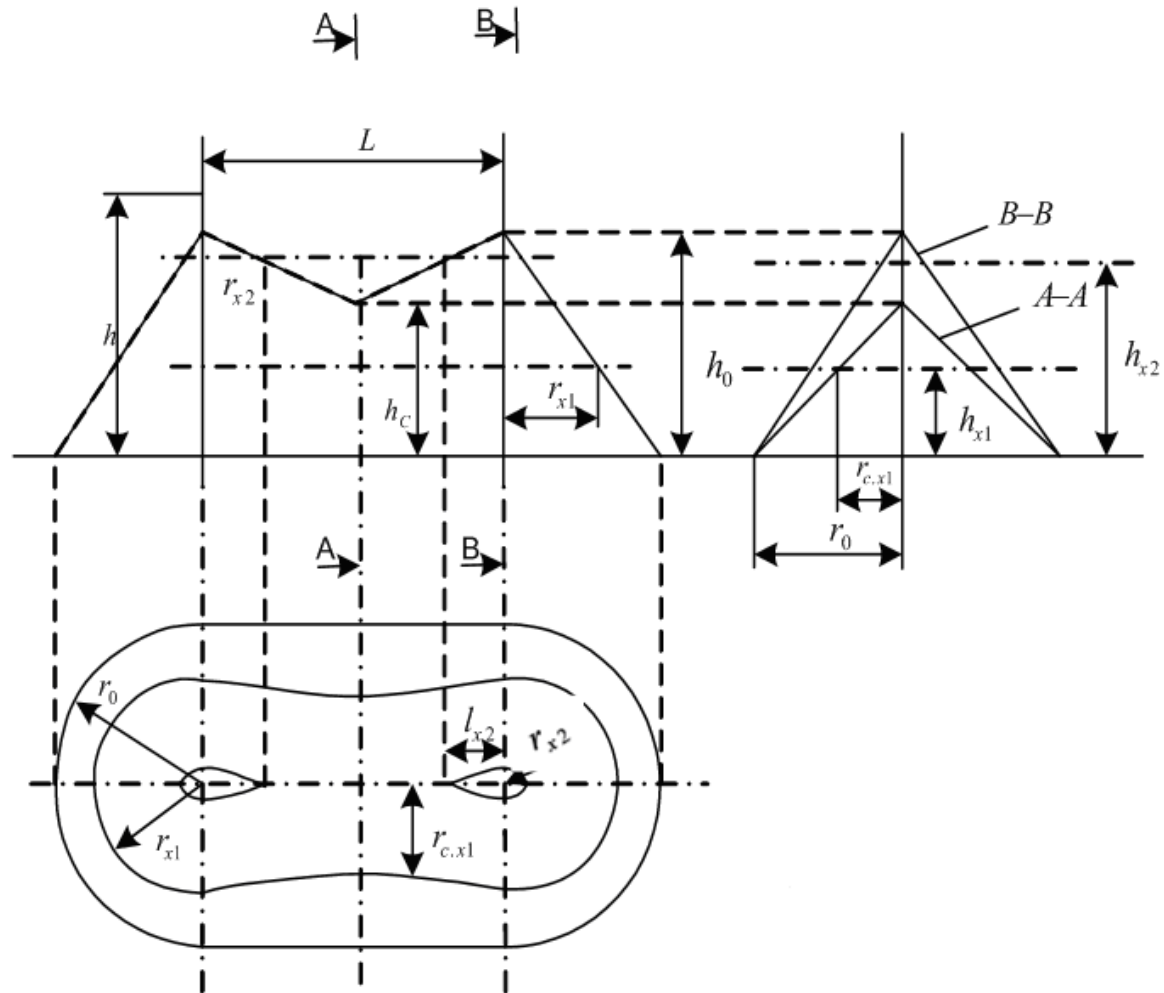
Осцилограма струму блискавки



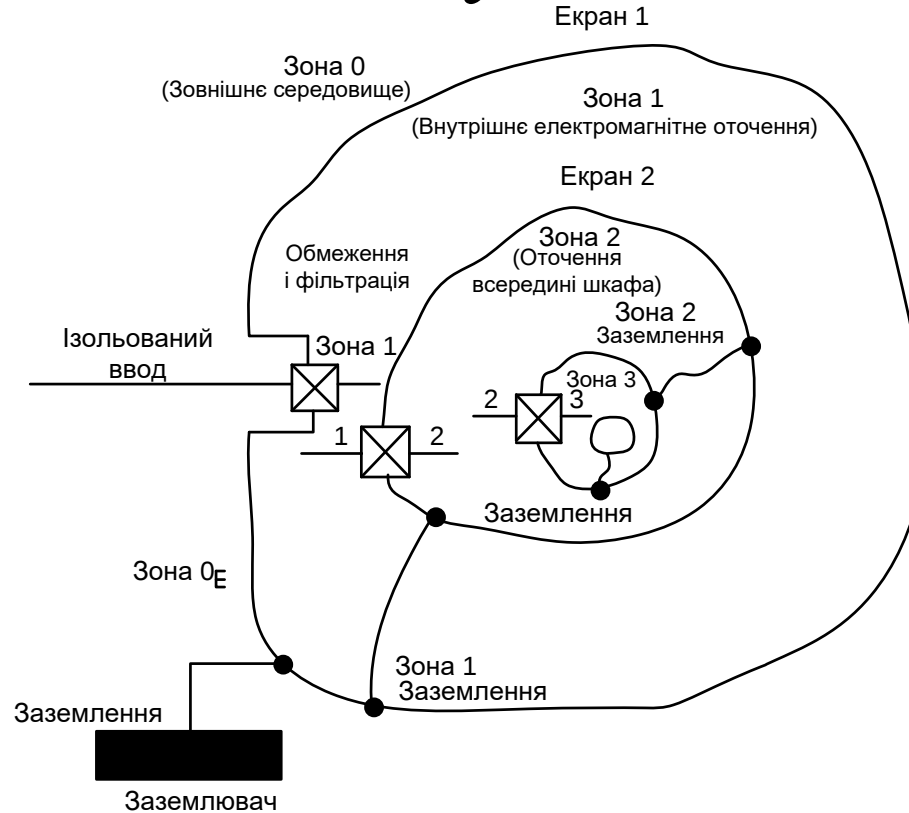
Зона захисту одного стрижневого блискавковідводу



Зона захисту подвійного стрижневого блискавковідводу



Зони захисту від дії блискавки



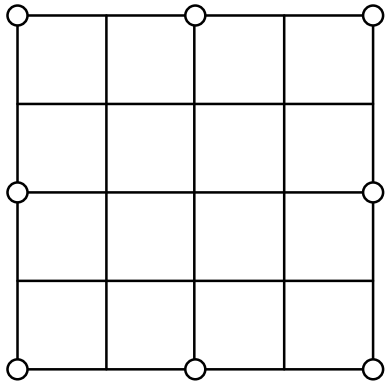
Зона 0 - зона, де кожен об'єкт не застрахований від прямого удару блискавки, і тому через нього може протікати повний струм блискавки. У цій області електромагнітне поле має максимальне значення.

Зона 0_Е - зона, де об'єкти захищені від прямого удару блискавки, але електромагнітне поле не ослаблене і також має максимальне значення.

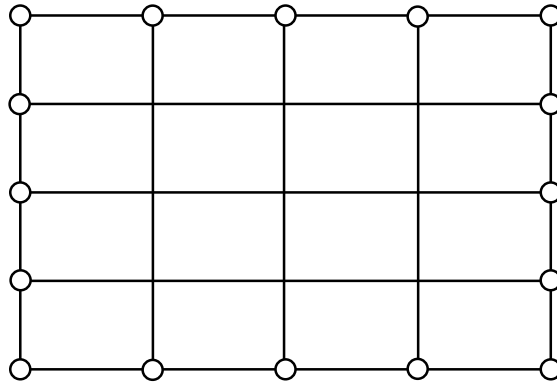
Зона 1 - зона, де об'єкти захищені від прямого удару блискавки, і струм у всіх провідних елементах всередині зони менше, ніж у зоні 0. У цій зоні електромагнітне поле може бути ослаблено екрануванням.

Інші зони - ці зони встановлюються, якщо потрібно подальше зменшення струму (напруги) і/або ослаблення електромагнітного поля; вимоги до параметрів зон визначаються відповідно до вимог до захисту різних зон об'єкта.

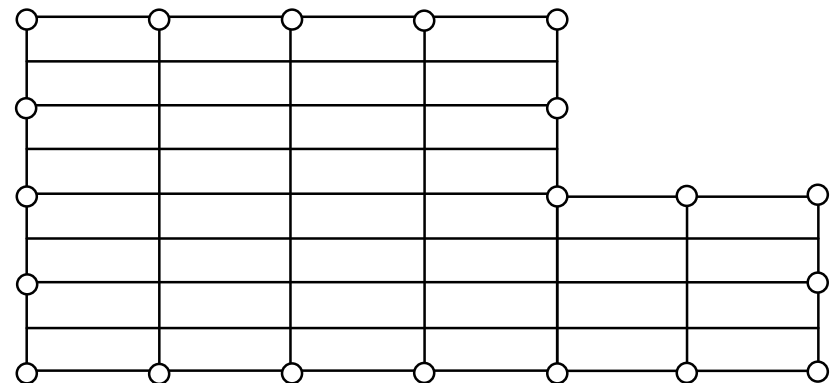
Типові схеми заземлювачів типу сітки



а)



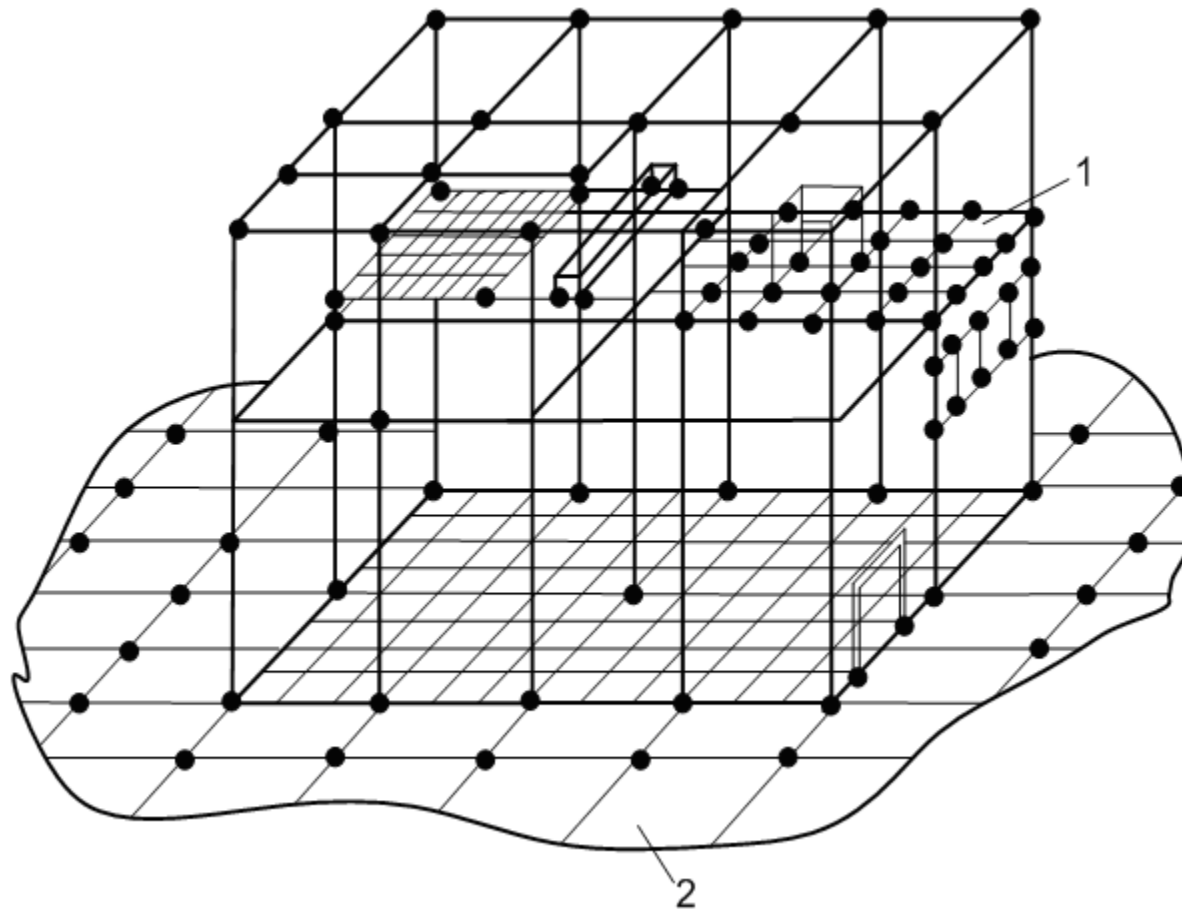
б)



в)

а — квадратна сітка; б — прямокутна сітка; у — сітка у вигляді неправильного багатокутника

Сітковий заземлюючий пристрій будівлі



1 – мережа з'єднань, 2 – заземлювач

У ході виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи були досліджені теоретичні та практичні аспекти побудови ефективної системи блискавкозахисту для електричних підстанцій. Отримані результати дозволяють сформулювати такі основні висновки:

1. Проведений аналіз показав, що блискавкові розряди становлять серйозну загрозу для безперебійної роботи електричних підстанцій, зумовлюючи як прямі пошкодження обладнання, так і вторинні електромагнітні впливи, які негативно позначаються на роботі систем управління, автоматики та зв'язку.
2. Встановлено, що ефективність захисту підстанції значною мірою залежить від правильного вибору та оптимального розміщення елементів блискавкозахисної системи, зокрема блискавкоприймачів, струмовідводів і заземлювальних пристроїв.
3. Розраховано параметри зовнішньої системи блискавкозахисту, які забезпечують необхідний рівень безпеки та зменшують імовірність ураження обладнання. Проведено вибір типів блискавковідводів відповідно до конструктивних особливостей підстанції.
4. Виконане моделювання показало, що запропонована система здатна суттєво зменшити рівень перенапруг, а також покращити електромагнітну сумісність обладнання, що є критичним чинником у забезпеченні безперебійної роботи підстанції.
5. Обґрунтовано технічну доцільність удосконалення існуючих систем блискавкозахисту шляхом впровадження сучасних технічних рішень, що відповідають актуальним вимогам нормативних документів та умовам експлуатації.
6. Результати роботи можуть бути впроваджені при проєктуванні нових підстанцій, а також у процесі модернізації діючих об'єктів з метою підвищення їх експлуатаційної надійності, енергобезпеки та захисту персоналу.