

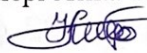
Вінницький національний технічний університет

Факультет електроенергетики та електромеханіки

Кафедра електричних станцій і систем

Бакалаврська дипломна робота на тему:

**РОЗРОБКА ТА ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ГРОЗОЗАХИСТУ ДЛЯ
ЕФЕКТИВНОГО ЗАХИСТУ ПІДСТАНЦІЙ**

Виконав: студент 4 курсу, групи 1ЕЕ-206
спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
за ОП «Електроенергетика та електротехніка»,
Кармазін Б.М. 

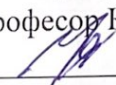
Керівник: к.т.н., доц., доцентка каф. ЕСС
Собчук Н.В. 

«___» _____ 2024 р.

Рецензент: _____
(наук.ступінь, вч.звання, назва кафедри)

«___» _____ 2024 р.

Допущено до захисту
авідувач кафедри ЕСС
к.т.н., професор Комар В.О.


«17» 06 _____ 2024 р.

Вінниця ВНТУ 2024 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 – Електроенергетика та електротехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., професор Комар В. О.

«11» 03 2024 р.

ЗАВДАННЯ **НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Кармазін Богдан Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. «Розробка та оптимізація системи грозозахисту для ефективного захисту підстанцій»

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

затверджена наказом вищого навчального закладу від 11 березня 2024, #80

2. Термін подання студентом роботи 08 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: 1. ДСТУ EN 62305-1:2012 «Блискавкозахист. Загальні принципи». Веб-сайт URL: <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/download/639/1129/2294-1?inline=1>. 2. ДСТУ Б.В.2.5-38-2008 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд». Веб-сайт URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem2021/paper/download/12749/10669>

4. Зміст текстової частини: Вступ 1. Фундаментальні аспекти грозозахисту. 2. Оптимізація, розробка, і розрахунок системи грозозахисту. 3. Економічна ефективність системи грозозахисту.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Види атмосферних розрядів. 2. Прямий удар блискавки. 3. Непрямий удар блискавки. 4. Зона захисту подвійного тросового блискавковідводу. 5. Конструкція активного блискавкоприймача. 6. Пристрій захисту від імпульсних перенапруг. 7. Карта грозової активності України.

6. Консультанти розділів роботи

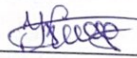
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Спеціальна частина	Керівник роботи Собчук Н.В. к.т.н., доц., доцент кафедри ЕСС		
Охорона праці	Кобилянський О.В. д. пед. н., проф., завідувач каф.		

7. Дата видачі завдання 15 березня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

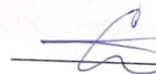
№ з/п	Назва та зміст етапів	Термін виконання етапів роботи	
		початок	кінець
1	Формування та затвердження теми БДР	16.03.2024	17.03.2024
2	Вступ. Огляд літературних джерел	18.03.2024	20.03.2024
4	Теоретичні основи грозозахисту	01.04.2024	06.04.2024
5	Розрахунок системи грозозахисту	19.04.2024	25.04.2024
6	Виконання розділу охорона праці	26.04.2024	30.04.2024
7	Формування висновків по роботі	01.05.2024	09.05.2024
8	Оформлення пояснювальної записки	15.05.2024	20.05.2024
9	Виконання графічної частини та оформлення презентації	21.05.2024	30.05.2024
10	Перевірка БДР на плагіат. Попередній захист БДР	04.06.2024	05.06.2024
11	Рецензування БДР	07.06.2024	09.06.2024
	Захист БДР	13.06.2024	14.06.2024

Студент



Кармазін

Керівник роботи



Собчук

АНОТАЦІЯ

УДК 621.311

Кармазін Богдан Миколайович. «Розробка та оптимізація системи грозозахисту для ефективного захисту підстанцій». Бакалаврська кваліфікаційна робота. - Вінниця: ВНТУ. - 2024. - 75 с. Бібліогр.: 22. Рис. : 18. Табл. : 12.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі буде розглянено проблеми надійного грозозахисту підстанцій від ударів блискавки. Дослідження теоретичних основ та методів проектування систем блискавкозахисту згідно міжнародних стандартів. Виконаємо розрахунки параметрів захисних зон та визначимо оптимальні конфігурації блискавководів для ефективного захисту високовольтного обладнання підстанцій. Проаналізуємо економічні показники впровадження розроблених систем грозозахисту та оцінимо ризики. Результати роботи можуть бути використанні для підвищення надійності електропостачання та забезпечення від ризиків пошкодження дорогого обладнання підстанцій внаслідок ударів блискавки.

Ключові слова: грозозахист, блискавка, блискавковод, екранування, заземлення, підстанція, блискавкоприймач, розрахунок захисних зон, ризики, ефективність, економічні показники, стандарти, ударна хвиля, перенапруга.

ANNOTATION

Karmazin Bohdan Mykolaiovych. " Development and optimization of lightning protection system for effective protection of substations." Bachelor's Thesis. Vinnytsia: National Technical University, 2024. - 75 p. Bibliography:22. Drawings: 18 Tables:12.

The bachelor's thesis will address the problems of reliable lightning protection of substations against lightning strikes. We will study the theoretical foundations and methods of designing lightning protection systems in accordance with international standards. We will calculate the parameters of protective zones and determine the optimal configurations of lightning rods for effective protection of high-voltage equipment of substations. We will analyze the economic performance of the developed lightning protection systems and assess the risks. The results of the work can be used to improve the reliability of power supply and protect against the risks of damage to expensive substation equipment due to lightning strikes.

Keywords: lightning protection, zipper, lightning rod, shielding, grounding, substation, lightning arrester, calculation of protective zones, risks, efficiency, economic indicators, standards, shock wave, overvoltage.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1.Фундаментальні аспекти грозозахисту	8
1.1 Природні механізми виникнення грозових розрядів.....	8
1.2 Вплив блискавок на електричне обладнання	10
1.3 Типи та нормативна база систем грозозахисту	13
2.Оптимізація, розробка і розрахунок системи грозозахисту.....	24
2.1 Аналіз вимог до систем грозозахисту підстанцій.....	24
2.2 Проектування та моделювання систем грозозахисту	28
2.3 Вибір типу блискавкозахисту та його конструкція	31
2.4 Визначення характеристик заземлення.....	37
3.Економічна ефективність системи грозозахисту	43
3.1 Техніко-економічний аналіз: витрати, ризики, ефективність	43
4 Охорона праці.....	48
4.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць.....	48
4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	52
4.3 Пожежна безпека.....	57
ВИСНОВКИ	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	61
ДОДАТКИ	
ДОДАТОК А Протокол перевірки навчальної роботи	
ДОДАТОК Б Ілюстративна частина	

ВСТУП

Актуальність роботи. В сучасному світі стабільне і безперебійне енергопостачання є критично важливим для належного функціонування практично всіх галузей промисловості, бізнесу та громадської інфраструктури. Електроенергетичні системи відіграють ключову роль у забезпеченні безперервного енергозабезпечення, при цьому підстанції є одними з найважливіших їх елементів, що забезпечують перетворення та розподіл електроенергії. Однак, підстанції постійно піддаються загрозі від різноманітних природних факторів, зокрема грозових розрядів, які можуть спричинити серйозні пошкодження дорогого високовольтного обладнання, що в свою чергу призводить до масштабних перебоїв у постачанні електроенергії та колосальних фінансових втрат.

Недооцінка важливості надійного грозозахисту підстанцій може мати вкрай негативні наслідки для економіки та суспільства. Порушення безперервної роботи життєво важливих об'єктів, таких як лікарні, системи зв'язку, транспортна інфраструктура чи виробничі потужності через відключення електроенергії внаслідок грозових уражень, здатне спричинити величезні збитки, а в деяких випадках навіть загрозу життю людей. Саме тому ефективний грозозахист є необхідною умовою забезпечення стійкості енергосистем.

Атмосферні грозові розряди являють собою потужні електричні імпульси, що здатні генерувати напругу у сотні мільйонів вольт та струми у десятки тисяч ампер. Навіть короточасний вплив такого розряду може спричинити вихід з ладу трансформаторів, роз'єднувачів, вимикачів та іншого високовольтного обладнання підстанцій. Це призводить до порушень в енергопостачанні, що може мати катастрофічні наслідки для промисловості, комунальних служб та цивільної інфраструктури.

Грозозахист підстанцій є критичним елементом забезпечення надійності та безперебійності роботи електроенергетичних систем. Ефективно розроблені та оптимізовані системи грозозахисту здатні суттєво мінімізувати ризики пошкоджень від грозових розрядів, забезпечити безперервність електропостачання та запобігти значним витратам на ремонт та відновлення пошкодженого обладнання.

Мета і задачі дослідження: комплексна розробка та оптимізація високоефективної системи грозозахисту для забезпечення надійного захисту підстанцій від впливу блискавок.

Відповідно до вказаної мети в роботі розв'язуються такі **основні задачі**:

- аналіз теоретичних основ виникнення грозових розрядів та їх впливу на електрообладнання;
- вивчення існуючих типів систем грозозахисту, нормативних вимог та найкращих практик;
- розробка ефективного проекту системи грозозахисту із застосуванням сучасних методів моделювання та оптимізації;
- здійснення техніко-економічного аналізу розробленої системи грозозахисту.

1 ФУНДАМЕНТАЛЬНІ АСПЕКТИ ГРОЗОЗАХИСТУ

1.1 Природні механізми виникнення грозових розрядів

Блискавка являє собою гігантський електричний розряд між хмарами або між хмарою і земною поверхнею, що виникає під час грозових явищ. Це одне з найпотужніших проявів електричних сил природи, здатне миттєво вивільнити величезні запаси енергії.

Більшість атмосферних розрядів поділяють на 4 види (рис. 1.1):

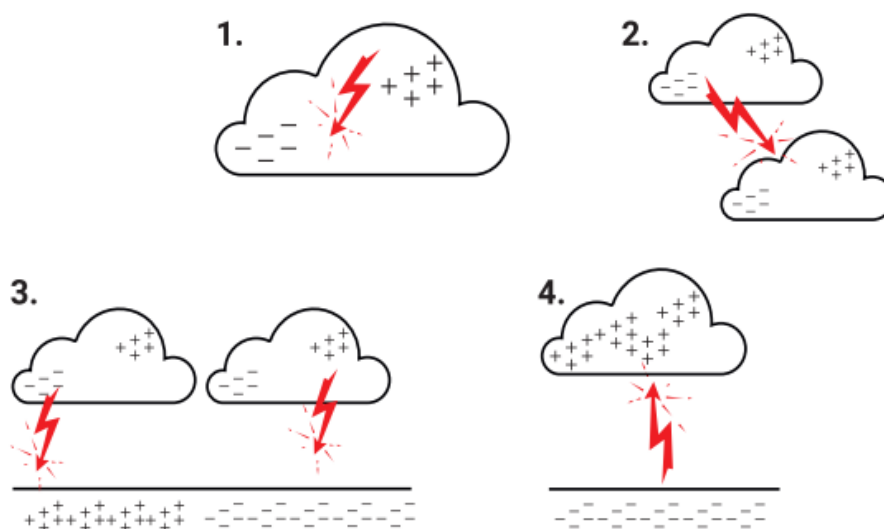


Рисунок 1.1 – Види атмосферних розрядів

1 - всередині хмари; 2 - між хмарами; 3 - між хмарою і землею; 4 - між землею та хмарою

Формування блискавки є результатом складної електризації, що відбувається всередині грозової хмари. Піднімаючись вгору, водяна пара конденсується і перетворюється на краплини води та крижані кристали. При русі вгору та вниз, різні за розміром та електричними властивостями частинки розділяються під дією гравітації та вихідних потоків повітря. Це призводить до накопичення позитивних

та негативних зарядів у різних областях хмари, породжуючи гігантське електричне поле.[1]

Цікавим фактом є те, що потенціал електричних зарядів у грозовій хмарі може сягати мільярдів вольт. А середня потужність типової блискавки перевищує сумарну потужність всіх електростанцій світу.

Коли напруженість електричного поля досягає критичної межі, стає можливим пробій повітряного проміжку між хмарою та землею. Цей процес супроводжується утворенням іонізованих доріжок - лідерів блискавки, що прокладають шлях через атмосферу на відстані до кількох кілометрів за доли секунди. Після досягнення заземлених об'єктів або поверхні землі відбувається потужний головний розряд - електричний імпульс з гігантськими струмами, що можуть сягати 300 000 ампер.

Особливістю блискавки є те, що вона сама генерує складну розгалужену систему з плазмових каналів високої провідності, по яких і здійснюється транспортування величезних зарядів. Температура в цих каналах може перевищувати 30 000°C - вища, ніж на поверхні Сонця.

Блискавки є серйозною загрозою для життя та майна людей. В Україні щорічно фіксується близько 2,4 мільйона ударів блискавок, і ця кількість має тенденцію до зростання. Електричні розряди високої напруги, що виникають внаслідок блискавок, трапляються як у малонаселених місцевостях, так і в густонаселених регіонах, створюючи ризики для населення, будівель та технічного устаткування. Саме через ці перенапруги щороку спричиняються збитки на сотні мільйонів гривень.

Комплексна система грозозахисту передбачає впровадження як зовнішніх, так і внутрішніх захисних заходів для забезпечення безпеки від уражень блискавками. Зовнішні елементи системи, такі як блискавковідводи та заземлювальні пристрої, призначені для відведення електричних розрядів в землю, захищаючи людей та будівельні конструкції від руйнівного впливу блискавок. Внутрішні захисні пристрої, зокрема обмежувачі перенапруг, застосовуються для запобігання пошкодженням електричного та електронного обладнання через стрибки напруги, спричинені грозовими розрядами. Таким чином, належно спроектована та реалізована система грозозахисту здатна мінімізувати ризики травмування людей,

руйнування споруд та виходу з ладу дорогого устаткування внаслідок грозових явищ.

1.2 Вплив блискавок на електричне обладнання

Блискавки є однією з найсерйозніших загроз для безпечної експлуатації електричних та електронних систем. Потужні імпульси струму та напруги, що супроводжують грозові розряди, можуть завдавати непоправної шкоди обладнанню та призводити до збоїв у його роботі. Вплив блискавок на електрообладнання можна розглядати за різними сценаріями залежно від місця удару відносно об'єкта.

Найбільш руйнівним - є прямий удар блискавки в будівлю чи інженерну споруду (рис.1.2). Величезний імпульс струму до 300 000 ампер, здатний розплавити металеві конструкції, викликати вибухові ефекти та займання усередині приміщень. Навіть якщо блискавка влучає у блискавковідвід чи заземлену систему, струми розтікання через недосконалість заземлення та підвищення потенціалів можуть спричинити пошкодження електропроводки, ліній зв'язку та сусідніх енергосистем. Прямі влучання блискавок часто стають причиною повного виходу з ладу уражених електричних систем, загрози життю людей та ризику виникнення пожеж.



Рисунок 1.2 - Прямий удар блискавки

Непрямі удари блискавки поблизу будівель чи ліній електропередач (рис. 1.3) також становлять велику небезпеку через виникнення потужних електромагнітних імпульсів та хвиль перенапруг. Навіть на відстанях до 2 км від місця удару індуковані перенапруги здатні порушити роботу пристроїв, викликати пробой ізоляції та вивести з ладу електронні компоненти.



Рисунок 1.3 - Непрямий удар блискавки

Особливо вразливими до блискавок є повітряні лінії електропередач та зв'язку. Прямі удари в такі лінії можуть призвести до проникнення руйнівних імпульсів струму безпосередньо в підключене обладнання. Непрямі удари поблизу ліній також індукують хвилі перенапруг, які здатні ініціювати процеси комутації навантажень, що додатково генерують імпульси високої напруги. Крім прямих пошкоджень, блискавки можуть спричиняти опосередковані ураження електрообладнання.

До прикладу, розглянемо можливий вплив блискавки на силовий трансформатор на підстанції. Під час грозового розряду потужний імпульсний струм блискавки може протікати через заземлену установку трансформатора, створюючи значні перепади потенціалів на її елементах. Це може призвести до пробую ізоляції обмоток трансформатора та пошкодження внутрішніх частин. Крім того,

електромагнітні імпульси від блискавки можуть наводити струми витoku в електричних колах трансформатора, перевищуючи допустимі рівні напруги ізоляції. Це може спричинити пробій ізоляції, утворення дугових розрядів та виникнення пожеж.

Також під час грозових розрядів можливі перенапруги, що поширюються через лінії електропередач на підстанцію. Ці перенапруги можуть перевищувати рівні захисту координаційних ізоляторів трансформатора, призводячи до пробою ізоляції та пошкодження обмоток і магнітопроводу.

Таким чином, вплив блискавок на електричне обладнання може мати катастрофічні наслідки - від виходу з ладу окремих пристроїв до системних збоїв і аварій в електроенергетичних системах. Це призводить до значних економічних втрат через пошкодження обладнання, ремонтні витрати та збитки від простоїв. Тому впровадження надійних систем грозозахисту є критично необхідним для забезпечення стійкої та безпечної роботи електричних систем і мінімізації ризиків від грозових явищ.

Безумовно, після дії грозових розрядів необхідно ретельно перевірити стан ізоляції електрообладнання на підстанціях. Для цього застосовують низку сучасних діагностичних методів. Вимірювання опору ізоляції високовольтним випробувальним обладнанням. Суттєве зниження опору в порівнянні з нормативними значеннями може вказувати на розвиток дефектів або пошкодження ізоляції внаслідок термічного впливу блискавки. Регулярний моніторинг дозволяє відстежувати тенденцію зміни опору.

Діагностика часткових розрядів за допомогою спеціалізованих датчиків (акустичних, електричних, ультрафіолетових). Блискавка може спричинити появу нових або інтенсифікацію існуючих часткових розрядів у місцях дефектів ізоляції. Аналіз параметрів імпульсів часткових розрядів дає цінну інформацію про ступінь пошкодження ізоляційних конструкцій.

Вимірювання тангенса кута діелектричних втрат ($\tan \delta$) - показника, пов'язаного з поглинанням енергії змінного електричного поля в діелектрику. Підвищені значення $\tan \delta$ після грози можуть свідчити про присутність дефектів, старіння чи

забруднення ізоляції. Візуальний огляд поверхні твердої ізоляції за допомогою оптичних пристроїв (ендоскопів, мікроскопів). Це дозволяє виявити тріщини, оплавлення, ерозію поверхні, спричинені інтенсивним термічним впливом блискавки. Ультразвукова діагностика поверхні ізоляційних конструкцій. Цей метод базується на реєстрації та аналізі відбитих ультразвукових хвиль, що дозволяє виявляти внутрішні дефекти та неоднорідності в структурі ізоляції.[1]

Комплексне застосування різних діагностичних підходів забезпечує максимально повну оцінку пошкоджень ізоляції електрообладнання після впливу грозових розрядів. Своєчасне виявлення дефектів дає змогу вжити відповідних заходів для запобігання розвитку відмов і забезпечення надійної роботи обладнання.

1.2 Типи систем грозозахисту

Існує кілька основних типів систем грозозахисту, які використовуються для захисту будівель, інженерних споруд та електрообладнання від уражень блискавками. Вибір конкретного типу залежить від умов експлуатації об'єкта, рівня ризику та необхідного ступеня захисту. Системи грозозахисту можна поділити на зовнішні та внутрішні в залежності від їх розташування та призначення.

Зовнішні системи призначені для перехоплення та відведення струмів блискавки в землю, захищаючи саму будівлю чи споруду від прямих уражень.

До них належать:

- Стрижневі блискавковідводи
- Протяжні горизонтальні (сітчасті) блискавковідводи
- Активні системи грозозахисту

Штиреві блискавковідводи є однією з найпоширеніших і найефективніших технологій зовнішнього блискавкозахисту (рис. 1.4). Вони складаються з вертикального металевго стрижня, який встановлюється на найвищій точці будівлі або споруди. Штир, або стрижень, є головним елементом блискавковідводу. Він виготовляється з високоелектропровідного матеріалу, такого як мідь, алюміній або оцинкована сталь. Мідь і алюміній широко використовуються завдяки своїй високій

провідності та стійкості до корозії. Висота штиря може варіюватися в залежності від вимог до захисту конкретного об'єкта: чим вищий штир, тим більшу площу він може захистити. Для надійного закріплення штиря на будівлі використовуються спеціальні монтажні конструкції. Це можуть бути кронштейни, анкери або інші типи кріплення, що відповідають конструкції даху чи іншої поверхні. Кріплення повинні забезпечувати стійкість і надійність системи в будь-яких погодних умовах. Далі йде спусковий провідник, він з'єднує штир із заземленням і забезпечує шлях для струму блискавки від штиря до заземлюючого пристрою, де струм заземляється. Провідник виготовляється з того ж матеріалу, що і штир, і має мінімальний опір. Він повинен бути надійно закріплений до стіни будівлі, щоб забезпечити безпечне відведення струму до заземлюючого пристрою. Заземлюючий пристрій складається з системи металевих електродів або пластин, занурених у ґрунт. Цей пристрій розсіює електричний струм блискавки в землю, забезпечуючи безпеку для людей і будівель. Важливо, щоб заземлюючий пристрій мав низький опір для ефективного відведення струму.

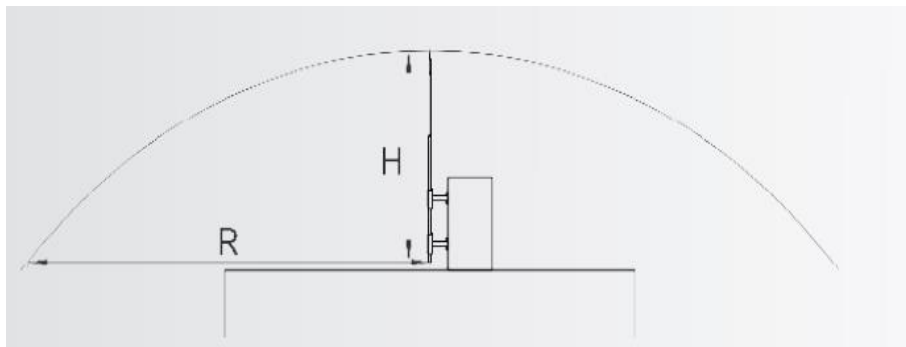


Рисунок 1.4 - Штиревий блискавковідвод

Принцип дії штиревого блискавковідводу базується на створенні найкоротшого та найменшого опору і шляху для розряду блискавки до землі. Коли блискавка вдаряє у штир, струм проходить через спусковий провідник до заземлюючого пристрою, де він розсіюється в ґрунт. Це запобігає прямому ураженню будівлі та захищає від можливих пошкоджень. Перевагами штирьових блискавковідводів

вважають: висока ефективність у перехопленні блискавки та захисті будівель і споруд, простота установки та обслуговування, довговічність і стійкість до корозії, особливо при використанні міді або алюмінію та відносно низька вартість матеріалів та монтажу.

Протяжні горизонтальні (сітчасті) блискавковідводи представляють собою систему блискавкозахисту, яка включає горизонтально натягнуті металеві троси або сітку, що утворює захисне покриття над будівлею або спорудою (рис. 1.5). Цей тип блискавковідводу призначений для захисту великих площ і об'єктів зі складною архітектурною формою.

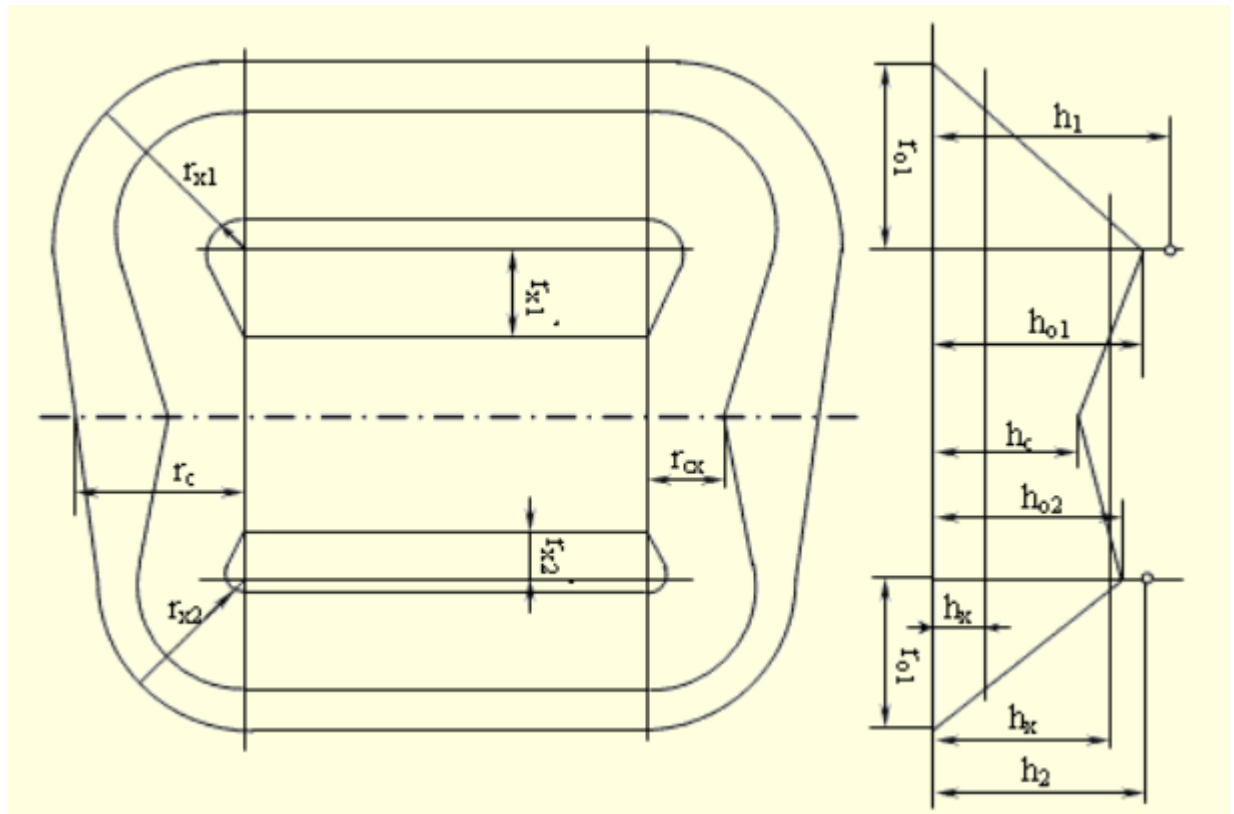


Рисунок 1.5 – Зона захисту подвійного тросового блискавковідводу

Горизонтальні троси або сітка виконуються з високоелектропровідних матеріалів, таких як сталь, алюміній або мідь. Вони натягуються над захищеною зоною і утворюють бар'єр, який перехоплює блискавку. Сітка може бути складена з окремих тросів, що перетинаються, утворюючи прямокутні або ромбічні вічка. Для надійного закріплення горизонтальних тросів або сітки використовуються

спеціальні опори, які можуть бути встановлені на дахах, стінах або спеціальних конструкціях. Кріплення повинні забезпечувати міцність і стійкість системи навіть під час сильних поривів вітру, вихорів і інших погодних умов. Спускові провідники з'єднують горизонтальні троси або сітку із заземлюючими пристроями. Вони забезпечують шлях для струму блискавки від перехоплюючої системи до землі. Як і у випадку з штирьовими блискавковідводами, спускові провідники виготовляються з тих же матеріалів для забезпечення мінімального опору. Заземлюючі пристрої є ідентичними до тих, що використовують і у стрижневих приймачах. Основною задачею протяжних горизонтальних (сітчастих) блискавковідводів, базується на створенні широкої захисної зони, яка перехоплює блискавку і відводить її струм у землю. Їхньою перевагою вважають, захист великих площ і об'єктів зі складною архітектурною формою.[1]

Активні системи грозозахисту являють собою сучасний підхід до захисту будівель і споруд від ударів блискавки, використовуючи передові технології, такі як іонізаційні випромінювачі або лазери. Ці системи створюють плазмові канали, які керують запуском блискавки у безпечну зону, запобігаючи її потраплянню в захищений об'єкт. Іонізаційні випромінювачі можуть бути встановлені на верхівках будівель або спеціальних вежах. Лазерний промінь може бути спрямований у потрібну зону, забезпечуючи керований шлях для розряду блискавки. Ця технологія дозволяє точно контролювати місце, куди потрапить блискавка. Активні системи грозозахисту включають системи управління, які контролюють роботу іонізаційних випромінювачів або лазерів. Ці системи можуть автоматично визначати наближення грози та активувати випромінювачі або лазери для створення плазмового каналу.

На відміну від традиційних громовідводів, активний блискавковідвід (рис. 1.6) не потребує підключення до електромережі. Він активується природними електричними полями, що виникають внаслідок наближення грозових фронтів. Як тільки грозові хмари опиняються поблизу, пристрій самостійно починає працювати. Коли накопичений електричний заряд у зоні дії захисту сягає критичного рівня, блискавковідвід випускає висхідний лідерний розряд, притягуючи блискавку та виконуючи свою основну функцію.[2]



Рисунок 1.6 – Конструкція активного блискавкоприймача

1. Наконечник блискавкоприймача, 2. Високовольтна система (котушка індуктивності), 3. Генератор імпульсної напруги та іскровий зазор, 4. З'єднувальна муфта

Примітно, що активну головку можна встановлювати не лише на окремих блискавководводах, а й на відкритих складських приміщеннях, автостоянках тощо для забезпечення всеохоплюючого захисту.

Внутрішні системи застосовуються для захисту електричного та електронного обладнання від перенапруг, індукованих електромагнітних впливів та вторинних проявів під час грозових розрядів.

До них відносяться:

- Пристрої захисту від перенапруг (ПЗП)
- Системи зрівнювання потенціалів
- Екранування

Пристрої захисту від перенапруг (ПЗП) (рис. 1.7), розроблені для захисту електрообладнання від високовольтних імпульсів, які можуть виникати під час грози або інших електромагнітних явищ. Основна функція ПЗП полягає у швидкому реагуванні на перенапруги та обмеженні їх до безпечного рівня.



Рисунок 1.7 – Пристрій захисту від імпульсних перенапруг

Імпульсні перенапруги являють собою короткотривалі стрибки напруги (рис. 1.8), що значно перевищують допустимі рівні. Їх характерною рисою є надзвичайно швидке наростання напруги, яке відбувається протягом лише 8-10 мікросекунд. При цьому амплітуда імпульсу може сягати десятків тисяч вольт, що створює серйозну загрозу для електричного обладнання. Тривалість таких імпульсів зазвичай не перевищує кількох тисячних часток секунди. Захистити пристрої від руйнівного впливу імпульсних перенапруг можливо лише за допомогою спеціальних пристроїв захисту від імпульсних перенапруг (ПЗІП). Вони призначені для обмеження амплітуди імпульсів до безпечних рівнів і забезпечення надійного захисту обладнання від пошкоджень.



Рисунок 1.8 – Графік імпульсних перенапруг

Варистори є одним з основних елементів ПЗІП. Вони виготовляються з оксидів металів (зазвичай оксиду цинку) і мають нелінійну вольт-амперну характеристику. При нормальних умовах вони мають високий опір, але при перенарузі опір різко зменшується, дозволяючи струму проходити через варистор і захищаючи обладнання від перенапруги. Наступним елементом є газорозрядники, які містять інертний газ у герметичному корпусі і використовуються для обмеження перенапруг. При досягненні певного рівня напруги газ у розряднику іонізується, утворюючи провідний шлях для струму, який потім відводиться в землю. Також із основних є діоди придушення перенапруги (TVS-діоди), вони мають здатність швидко реагувати на високу напругу, обмежуючи її до безпечного рівня. Їх використовують для захисту чутливих електронних компонентів.[2]

Індуктивні та ємнісні компоненти використовуються для фільтрації високочастотних імпульсів та додаткового обмеження перенапруги. Вони допомагають зменшити амплітуду перехідних процесів.

Принцип дії ПЗІП базується на швидкому реагуванні на перенапруги та відведенні надлишкової енергії до землі або в нейтральний провідник. Коли напруга

перевищує допустимий рівень, ПЗП миттєво змінює свій опір, створюючи провідний шлях для струму. Це дозволяє захистити електрообладнання від пошкоджень, викликаних високовольтними імпульсами, знижує ризики збоїв, від високовольтних імпульсів, запобігає виходу з ладу.

Системи зрівнювання потенціалів включають різноманітні компоненти та з'єднання, що забезпечують ефективний розподіл електричного потенціалу по всій будівлі або споруді. Основні компоненти таких систем включають - заземлювальний пристрій (контур заземлення) (рис. 1.9). Це сукупність заземлювачів, виконаних з струмопровідного матеріалу (зазвичай з оцинкованої сталі або міді), які закладаються в ґрунт та об'єднуються заземлювальними провідниками в єдину конструкцію. Заземлювачі можуть мати різну форму - стрижневу, горизонтальну, кільцеву тощо. Важливо, щоб заземлювальний пристрій мав низький опір для розтікання струмів та забезпечував надійне з'єднання із землею. Для зменшення опору використовують заземлювальні підсипки із речовин зі сприятливими електричними властивостями.

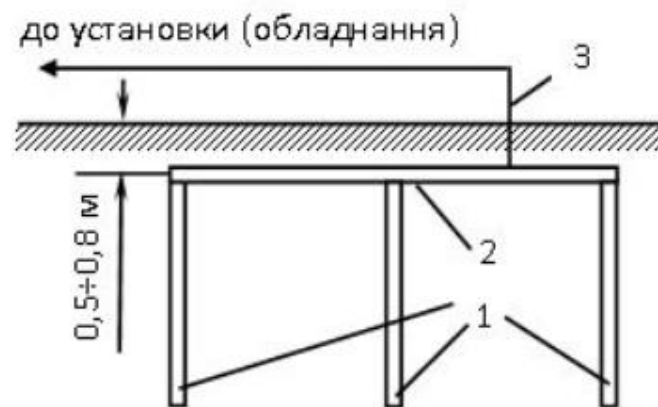


Рисунок 1.9 - Улаштування штучного заземлювача: 1 – вертикальні електроди; 2 – горизонтальний електрод; 3 – заземлювальний провідник

Горизонтальні зрівнювальні зв'язки Це провідники, які з'єднують між собою металеві частини обладнання, будівельні та ґрунтові конструкції на території підстанції. Їх виконують зі струмопровідних матеріалів (мідь, алюміній, сталь) з

перерізом, розрахованим на протікання струмів грозових розрядів. Горизонтальні зв'язки прокладають над поверхнею землі або заглиблюють у ґрунт.

Вертикальні зрівнювальні зв'язки Це струмопровідні елементи, що з'єднують горизонтальні зрівнювальні зв'язки з заземлювальним пристроєм. Вони забезпечують безперервне електричне коло між елементами системи на різних рівнях для вирівнювання потенціалів. Вертикальні зв'язки також виконуються з матеріалів, стійких до корозії та здатних проводити високі імпульсні струми.

Контрольні кабелі - це струмопровідні з'єднання, які під'єднують неструмопровідні частини обладнання та конструкцій (корпуси пристроїв, бетонні опори тощо) до заземлювального пристрою. Таким чином забезпечується вирівнювання потенціалів між струмопровідними та неструмопровідними елементами підстанції під час грозових розрядів.

Принцип дії систем зрівнювання потенціалів полягає в тому, щоб всі металеві частини будівлі та електричні системи мали однаковий електричний потенціал. Коли блискавка вдаряє в будівлю або поруч з нею, струм блискавки поширюється по всій системі зрівнювання потенціалів, розподіляючи електричний заряд і запобігаючи виникненню високих різниць потенціалів між різними частинами будівлі. Це знижує ризик пошкоджень електрообладнання та інших небезпек.

Також не менш важливим є екранування. Екранування є одним з ефективних способів захисту електричного та електронного обладнання від впливу електромагнітних перешкод та індукованих перенапруг, що виникають під час грозових розрядів. Принцип дії екранування ґрунтується на використанні провідних оболонок або кожухів (рис. 1.10), які оточують захищуване обладнання. Ці екрани виконують роль своєрідного електромагнітного бар'єру, відбиваючи та ослаблюючи зовнішні електромагнітні поля та перенапруги. Екрани створюються з електропровідних матеріалів, таких як мідь, алюміній або сталь. Їх конструкція повинна забезпечувати безперервність та суцільність для ефективного екранування. Найчастіше використовуються металеві сітки, фольга або труби.

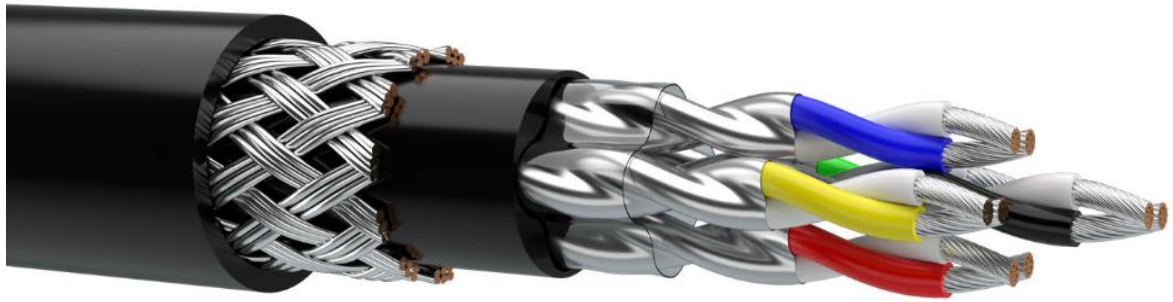


Рисунок 1.10 – Кабель монтажний екранований

Під час грозового розряду навколо місця удару блискавки виникає потужне електромагнітне поле. Це поле здатне індукувати високі перенапруги в провідниках та електричних колах, що може призвести до пошкоджень чутливого обладнання. Проте, коли обладнання розміщене всередині металевого екрану, індуковані струми протікають по зовнішній поверхні екрану, не проникаючи всередину захищеного простору. Ефективність екранування залежить від властивостей матеріалу екрану, його товщини та безперервності. Чим вища провідність матеріалу та більша товщина екрану, тим краще він ослаблює електромагнітні поля. Важливо також забезпечити надійне електричне з'єднання всіх елементів екрану для уникнення розривів та щілин, через які можуть проникати перешкоди.

Екранування часто використовується в поєднанні з іншими методами грозозахисту, такими як системи зрівнювання потенціалів та обмежувачі перенапруг. Наприклад, кабелі живлення та передачі даних можуть бути прокладені в металевих трубах, що виконують функцію екрану. А електронні пристрої розміщуються в металевих корпусах або кожухах.

Таким чином, екранування є ефективним способом ізолювання чутливого обладнання від шкідливого впливу електромагнітних полів та індукованих перенапруг під час грозових явищ, забезпечуючи надійний захист від ураження та збоїв в роботі.

2 ОПТИМІЗАЦІЯ, РОЗРОБКА І РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ГРОЗОЗАХИСТУ

2.1 Аналіз вимог до систем грозозахисту підстанцій

Аналіз вимог до систем грозозахисту підстанцій необхідно розпочати з розгляду відповідних нормативних документів, які є обов'язковими для виконання. Основним нормативним документом в Україні, що регламентує грозозахисні заходи на об'єктах енергетики, є Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Зокрема, розділ 2.4 ПУЕ висвітлює питання захисту підстанцій від прямих ударів блискавки і грозових перенапруг. Важливим також є міждержавний стандарт ГОСТ 1516.3-96 "Електроенергетичні системи змінного струму напругою від 1 до 750 кВ", який регламентує загальні технічні вимоги до електричних мереж, включно з вимогами до грозозахисних пристроїв та рівнів ізоляції. Щодо захисту від грозових перенапруг, нормативні документи вимагають застосування на підстанціях обмежувачів перенапруг (розрядників) відповідно до ГОСТ 16357-83 та ГОСТ 9032-77. Обмежувачі повинні розміщуватися поблизу захищеного обладнання для обмеження імпульсних напруг до припустимих для даного класу ізоляції рівнів.

Значення цих допустимих рівнів імпульсних напруг для різних класів ізоляції електрообладнання визначаються ГОСТ 1516.3-96. Наприклад, для ізоляції обладнання класу 110 кВ максимально допустима імпульсна напруга становить 650 кВ.

Для забезпечення захисту від прямих ударів блискавки на об'єктах можуть використовуватися як спеціально встановлені блискавкоприймачі, так і наявні конструктивні елементи споруд, що виконують функції природних блискавкоприймачів. Блискавкоприймачі можуть бути виконані у вигляді окремих стрижнів, натягнутих тросів або сітчастих провідникових конструкцій, а також їх комбінацій.

До природних блискавкоприймачів можна віднести такі елементи будівель та споруд:

- Металеві покрівлі за умови забезпечення надійного електричного з'єднання між їх частинами та відповідної товщини металу. Якщо покрівлю необхідно захистити від пошкоджень, товщина металу має бути не менше значення, наведеного в нормативних документах (табл. 2.1). Якщо захист покрівлі не є критичним та під нею немає вогнебезпечних матеріалів, допускається товщина від 0,5 мм. При цьому тонкий шар фарби, асфальту чи пластику не вважається ізолюючим покриттям.

- Металеві конструкції даху, такі як ферми, з'єднана арматура.

- Металеві елементи, наприклад водостічні труби, огорожі на даху тощо, за умови, що їх переріз не менше нормативних значень для звичайних блискавкоприймачів.[1]

Використання наявних металевих конструктивних елементів як блискавкоприймачів може бути економічно вигідним, проте вони повинні відповідати необхідним вимогам щодо струмопровідності, механічної міцності та надійності з'єднань.

Таблиця 2.1 - Товщина металевих покрівель, що виконують функції природних блискавкоприймачів.

Рівень захисту	Матеріал	Товщина не менше, мм
I - IV	Алюміній	7
I - IV	Мідь	5
I - IV	Залізо	4

Для забезпечення ефективного відведення струмів блискавки в ґрунт і запобігання утворенню небезпечної іскрової діяльності, розташування струмовідводів має відповідати певним вимогам - струми блискавки повинні

розтікатися по кількох паралельних шляхах від місця пошкодження до заземлювача і довжина цих шляхів струморозтікання має бути мінімізована.

У разі коли блискавкоприймач складається з окремих стрижнів, встановлених на опорах, на кожній опорі передбачається не менше одного струмовідводу. Аналогічно, якщо блискавкоприймач виконано у вигляді горизонтальних тросів, на кожному кінці троса влаштовується мінімум один струмовідвід.

Для блискавкоприймачів у формі сітчастих конструкцій над об'єктом, що захищається, на кожній опорі сітки монтується не менше одного струмовідводу. При цьому загальна кількість струмовідводів має бути не менше двох. Струмовідводи розміщуються по периметру об'єкта таким чином, щоб середня відстань між ними не перевищувала нормативних значень (табл. 2.2). Також струмовідводи з'єднуються горизонтальними поясами біля поверхні ґрунту та через кожні 20 метрів по висоті будівлі.

Таблиця 2.2 - Нормативні значення між струмовивідних відстаней відповідно до рівня блискавкозахисту

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

Прокладання струмовідводів у водостічних трубах є неприпустимим, оскільки це може призвести до порушення цілісності системи і ризику виникнення замикань. Рекомендується розташовувати струмовідводи на максимально можливій відстані від входних дверей і вікон, щоб мінімізувати ризик проникнення блискавки всередину приміщень.

Струмовідводи слід прокладати по найкоротших шляхах до заземлення, дотримуючись горизонтальних і вертикальних ліній. Уникайте утворення петель або

зайвих вигинів, адже це може негативно вплинути на ефективність системи грозозахисту.

Деякі конструктивні елементи будівель можуть виконувати функцію природних струмовідводів, якщо вони відповідають певним вимогам:

а) Металеві конструкції можуть бути використані як струмовідводи за умови, що:

- забезпечена електрична безперервність між різними елементами на тривалий період;
- їхні розміри не менші, ніж вимагається для спеціально передбачених струмовідводів.

б) Металевий каркас будівлі або споруди може виступати як струмовідвід, якщо він не має ізоляційного покриття.

в) З'єднання між собою сталевих арматур в бетонних конструкціях будівлі або споруди.

г) Елементи фасаду, профільовані деталі та опорні металеві конструкції можуть використовуватися як струмовідводи за умови, що:

- їхні розміри відповідають вимогам до струмовідводів;
- товщина металу становить не менше 0,5 мм.

Дотримання цих вимог забезпечить надійний захист від блискавок і збереже цілісність будівлі та безпеку людей.

2.2 Проектування та моделювання систем грозозахисту

Розробка надійної системи грозозахисту для підстанції є критично важливою задачею для гарантування безперебійної та стабільної роботи всього обладнання. Під час проектування необхідно враховувати широкий спектр чинників, серед яких - електричні характеристики блискавок, параметри струмів розряду, специфіка об'єкта, а також вимоги діючих норм та стандартів. Важливо враховувати статистичні дані щодо грозової активності в регіоні розташування підстанції,

оскільки ця інформація впливає на розрахунок ризиків та вибір параметрів грозозахисту.

Одним із ключових аспектів є визначення зон захисту грозозахисних пристроїв. Існують різноманітні типи таких зон захисту, зокрема, сферичні, циліндричні та конусоподібні. Розрахунок розмірів зон захисту здійснюється з використанням спеціальних методик, таких як метод куль, метод конічного заземлення тощо. Їхні розміри та ефективність залежать від типу та розташування блискавковідводів, висоти їх встановлення, кількості та взаємного розміщення. Для оцінювання ризиків ураження блискавкою та надійності грозозахисних систем застосовуються спеціальні концепції та показники, рекомендовані відповідними галузевими стандартами.

Оцінка середньої кількості небезпечних подій на рік, спричинених ударами блискавок, є важливим етапом під час проектування систем грозозахисту. Цей показник залежить від грозової активності в регіоні розташування об'єкта, а також його фізичних характеристик. Розрахунок середньої річної кількості небезпечних подій N_x зазвичай виконується шляхом множення щільності ударів блискавки в землю N_g на еквівалентну площу зони захисту об'єкта A та поправочний коефіцієнт C , що враховує фізичні параметри будівлі або споруди. Відповідне рівняння має вигляд:

$$N_x = N_g \cdot A \cdot C \cdot 10^{-6} \quad (2.1)$$

Де: N_g – щільність ударів блискавки в землю, A – еквівалентна площа області захисту, C – поправочний коефіцієнт.

Для території України щільність ударів блискавки в землю варіюється залежно від регіону і наведена на спеціальних картах грозової активності (рис. 2.1). [3]

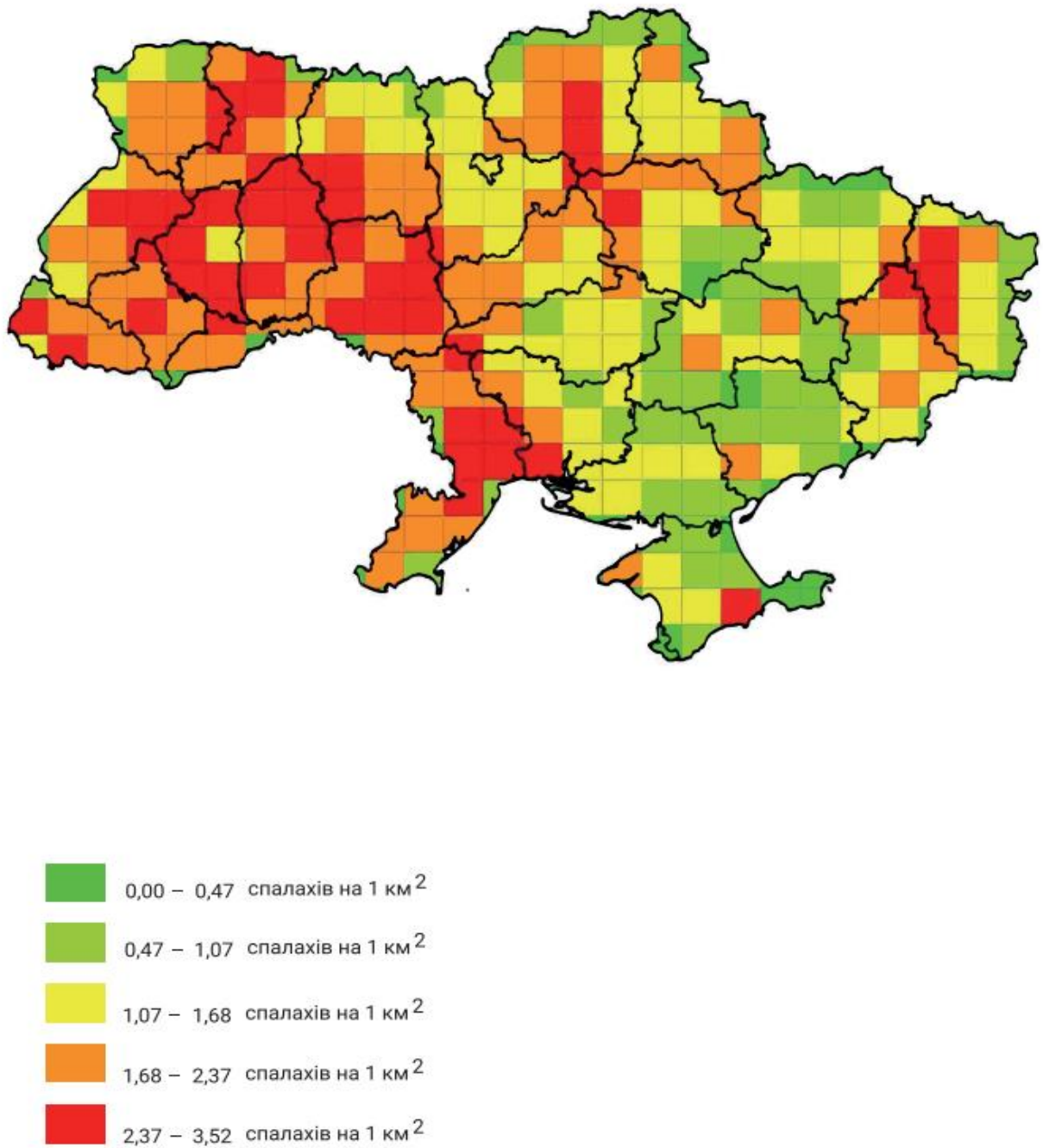


Рисунок 2.1 – Карта грозової активності в Україні

Крім того, під час проектування систем блискавкозахисту важливо враховувати не лише середню кількість небезпечних подій, але й інші параметри блискавок, такі як амплітуда струмів розряду, їх тривалість, крутизну наростання тощо. Ці характеристики визначають термічний, електродинамічний та електромагнітний вплив на обладнання та конструкції і дозволяють оцінити необхідні захисні заходи.

Сучасні підходи до проектування систем блискавкозахисту значною мірою спираються на моделювання та чисельні розрахунки широкого кола параметрів. Зокрема, необхідно ретельно проаналізувати фізичні механізми зародження та розвитку блискавки з використанням електрогазодинамічних моделей. Також потрібно детально розглянути характеристики струмів розряду, такі як амплітуда струму блискавки, швидкість наростання струму, інтеграл струму (заряд) та імпульс струму. Це дозволяє точніше оцінити термічний, електродинамічний та електромагнітний вплив струмів блискавки на обладнання та конструкції підстанції. Для проектних розрахунків часто використовуються спеціалізовані програмні комплекси та інструменти моделювання грозозахисних систем, як-от GRND, SIGMA, ATP/EMTP та інші.

Під час проведення проектних робіт необхідно детально вивчити особливості об'єкту проектування - конкретної підстанції. Потрібно врахувати топологію підстанції, розміщення високовольтного обладнання (трансформаторів, вимикачів тощо), розташування будівель та споруд допоміжного призначення, наявність існуючих систем блискавкозахисту. Важливо також визначити наявність природних струмовідводів, таких як металеві конструкції, арматура в залізобетонних спорудах, металеві огорожі тощо. На основі всіх зібраних даних виконуються необхідні розрахунки та комп'ютерне моделювання, результатом яких є проектне рішення щодо оптимального розташування блискавковідводів, встановлення захисних пристроїв та системи струмовідводів.

Обґрунтоване та якісне проектування системи блискавкозахисту з дотриманням усіх необхідних норм і стандартів гарантує надійний захист підстанції від прямих ударів блискавки, грозових перенапруг та вторинних наведених імпульсів напруги. Це мінімізує ризики виходу з ладу дорогого високовольтного обладнання, перерви в енергопостачанні та забезпечує безпеку обслуговуючого персоналу.

2.3 Вибір типу блискавкозахисту та його конструкція

Під час проектування ефективної системи грозозахисту для підстанції

проектувальники повинні ретельно вивчити і врахувати рекомендації міжнародних стандартів, серед яких провідну роль відіграє ІЕС 62305-3.

Цей авторитетний документ пропонує низку затверджених методик для оптимального розміщення блискавкоприймальної системи, здатної перехоплювати прямі удари блискавки. Одним із запропонованих підходів є метод захисного кута, який ґрунтується на концепції конусоподібної зони захисту. Ця зона формується навколо блискавководу, утворюючи геометричну фігуру з обмеженим кутом розхилу. Величина кута визначається необхідним рівнем блискавкозахисту - чим вищий рівень, тим менший відхил від вертикалі і, відповідно, більша площа захисту. Метод захисного кута часто використовується для захисту окремих споруд та будинків.

Альтернативним і більш поширеним підходом є застосування концепції сферичних зон захисту, або метод сфери, що котиться. Він ґрунтується на припущенні, що зона блискавкозахисту кожного окремого блискавководу має форму кулі з радіусом, пропорційним його висоті та певним коефіцієнтом, який залежить від вибраного рівня захисту. Для створення суцільної зони захисту на об'єкті встановлюють декілька блискавководів таким чином, щоб їхні сферичні радіуси перекривалися, утворюючи безперервну оболонку.

Іншим затвердженим методом є метод сітки, або метод натягнутої сітки провідників. Він застосовується переважно для захисту великих відкритих територій, таких як розподільчі пристрої на підстанціях. Метод полягає у створенні суцільної системи з паралельних провідників, натягнутих згори над територією, що потребує захисту. Ця сітка виконує функцію безперервного блискавкоприймача та забезпечує рівномірний розподіл зон захисту над усією площею.

Остаточний вибір найбільш оптимального методу розміщення блискавкоприймальної системи залежить від низки факторів: конфігурації та розмірів об'єкта, необхідного рівня захисту, прийнятності ризиків, а також економічних міркувань. У багатьох випадках на одному об'єкті можуть поєднуватися різні методи.

Повітряні лінії електропередачі з напругою 330 кіловольт та вищою обов'язково споряджаються грозозахисними тросами уздовж всієї протяжності траси. З метою обмеження впливу хвильових імпульсних перенапруг, які можуть виникати під час комутаційних процесів, на кінцевих ділянках ліній 330 кВ та вищого класу напруги застосовуються шунтувальні реактори. У випадку, коли лінійний вимикач розімкнений, на шунтуючому реакторі може спостерігатися подвоєння амплітуди набігаючої хвилі напруги. Для захисту реакторів від цього явища в безпосередній близькості до них монтуються вентильні розрядники.

Конфігурація відкритих розподільчих пристроїв підстанцій такого класу напруги не дозволяє здійснювати одночасний захист декількох силових трансформаторів за допомогою одного розрядника. Тому розрядні пристрої встановлюються окремо біля кожного трансформатора або реактора. Нерідко розрядники розміщуються безпосередньо біля високовольтних вводів трансформатора (до вимикача), адже при відключених обмотках високої напруги зберігається ризик виникнення на них перенапруг атмосферного походження внаслідок перекидання з обмоток середнього рівня напруги. Така загроза є особливо актуальною для автотрансформаторів.[4]

Для забезпечення надійного захисту регулювальних секцій обмоток трансформаторів і автотрансформаторів, а також обмоток низької напруги від імпульсних перенапруг застосовуються спеціалізовані розрядні пристрої. Такі розрядники розраховані на відповідні рівні напруг та мають конструктивні особливості, що дозволяють ефективно обмежувати перенапруги в зазначених вузлах трансформаторного обладнання.

У розподільних електричних мережах класу напруги 110-220 кіловольт, як правило, не передбачається застосування шунтуючих реакторів на лініях електропередачі. Відповідно, відпадає необхідність встановлення розрядників поблизу лінійних вимикачів. Компактніше розміщення обладнання на підстанціях цих класів напруги дозволяє обмежитися монтажем одного комплекту розрядних пристроїв для захисту кожної системи збірних шин. Однак, для трансформаторів, які розташовані на значній відстані від збірних шин (наприклад, на

гідроелектростанціях), потрібно передбачати додаткові розрядники для належного захисту. Крім того, у мережах 110-220 кВ лінії електропередачі повинні бути обладнані грозозахисними тросами на всій протяжності для дотримання вимог блискавкозахисту.

Блискавкозахист підстанцій класу напруги 3-20 кВ, які не мають електричних машин, має певні особливості. Підведення напруги до таких підстанцій зазвичай здійснюється за допомогою кабельних вставок, оскільки підключення великої кількості повітряних ліній цього класу напруг безпосередньо до підстанції є досить складним завданням. Типову схему блискавкозахисту для такої підстанції наведено на рисунку 2.2. Через відносно слабкі ізоляційні властивості повітряних ліній електропередачі напругою 3-20 кВ, практично будь-який удар блискавки в лінію спричиняє пробій ізоляції та коротке замикання на землю всіх трьох фаз. Внаслідок цього імпульси хвильових перенапруг однакової форми поширюються по всіх трьох фазних проводах лінії електропередачі в напрямку підстанції. У місці переходу від повітряної лінії до кабельної відбувається явище відбиття та заломлення цих хвиль напруги.

Слабка ізоляція повітряних ліній 3-20 кВ не здатна протистояти потужним імпульсам від ударів блискавки, що призводить до міжфазного замикання на землю. Це викликає поширення ідентичних за формою імпульсів перенапруг по всіх трьох фазах лінії до підстанції. На ділянці переходу від повітряної лінії до кабельної лінії відбуваються відбиття та зміна напрямку поширення хвиль напруги через різницю хвильових опорів.[4]

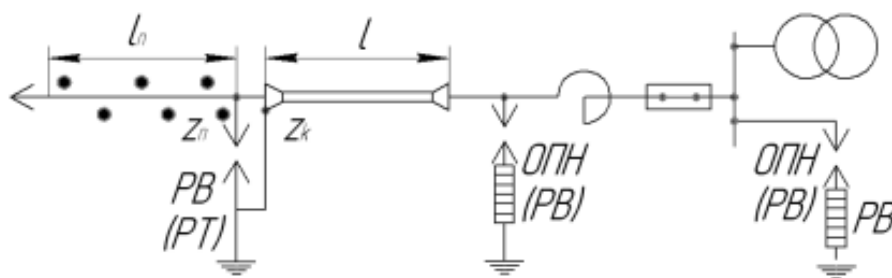


Рисунок 2.2 - Схема блискавкозахисту підстанції 3-20 кВ

Розробка ефективної системи блискавкозахисту для ошинування, силового обладнання та будівель підстанції 110/10 кВ об'єкта зберігання енергії є надзвичайно важливим завданням. Для захисту цих критично важливих складових було обрано метод захисного кута (рис. 2.3), який ґрунтується на створенні конусоподібних зон захисту навколо блискавковідводів (рис. 2.4).

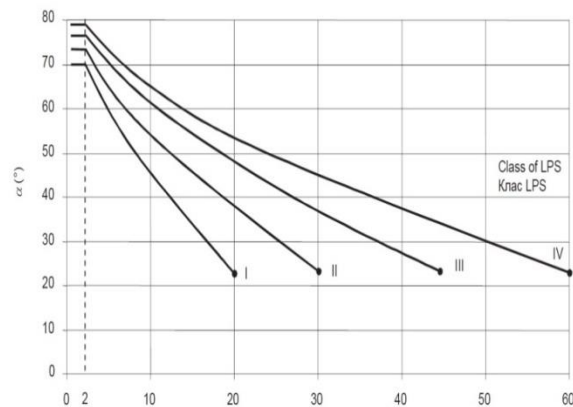


Рисунок 2.3 - Захисний кут відповідно до класу LSP

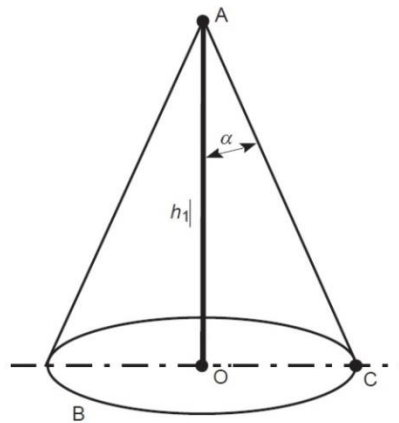


Рисунок 2.4 - Об'єм, що захищається вертикальним стрижневим перехоплювачем

Розрахуємо радіус прямого кругового конуса за формулою:

$$r_k = h_1 \cdot \operatorname{tg} \partial \quad (2.2)$$

де h_1 - висота стрижня перехоплювача над базовою площиною зони, яку належить захистити, ϑ - захисний кут.

$$h_1 = h - h_x \quad (2.3)$$

де h_1 - висота блискавковідводу, h_x - висота обладнання, що потребує захисту від блискавок.

Розрахунок блискавкозахисту Т1 та Т2 110 кВ на висоті 11,35 м:

Проведемо розрахунок блискавковідводу Б-1 та Б-2:

Висота блискавковідводу Б-1 $h = 19,35$ м. Обладнання, що потребує захисту від блискавок знаходиться на висоті $h_x = 5$ м. та має клас LPS -II.

Розраховуємо висоту стрижня перехоплювача над базовою площиною зони, яку належить захистити:

$$h_1 = 19,35 - 5 = 14,35 \text{ м.} \quad (2.4)$$

Розрахуємо радіус прямого кругового конуса:

$$r_{x1} = 14,35 \cdot \operatorname{tg}(41.18^\circ) = 15,48 \text{ м.} \quad (2.5)$$

Блискавковідводів Б-2, має таку ж саму висоту, що і блискавковідвід Б-1, тому розрахунок його максимальної зони захисту той самий.

Розрахунок блискавкозахисту ошиновки 110 кВ на висоті 11,35 м:

Проведемо розрахунок блискавковідводу Б-1 та Б-2:

Висота блискавковідводу Б-1 $h = 19,35$ м.. Обладнання, що потребує захисту від блискавок знаходиться на висоті $h_x = 11,35$ м. та має клас LPS -III.

Розраховуємо висоту стрижня перехоплювача над базовою площиною зони, яку належить захистити:

$$h_1 = 19,35 - 11,35 = 8 \text{ м.} \quad (2.6)$$

Розрахуємо радіус прямого кругового конуса:

$$r_{x2} = 8 \cdot \operatorname{tg}(64,69^\circ) = 16,92 \text{ м.} \quad (2.7)$$

Решта блискавковідводів Б-2, Б-3, Б-4, Б-5, Б-6 мають таку ж саму висоту, що і блискавковідвід П-1, тому розрахунок їхньої максимальної зони захисту той самий.

Розрахунок блискавкозахисту будівлі ЗПУ на висоті 11,35 м:

Проведемо розрахунок блискавковідводу Б-3 та Б-5:

Висота блискавковідводу П-1 $h = 19,35$ м. Обладнання, що потребує захисту від блискавок знаходиться на висоті $h_x = 4$ м. та має клас LPS -III.

Розраховуємо висоту стрижня перехоплювача над базовою площиною зони, яку належить захистити:

$$h_1 = 19,35 - 4 = 15,35 \text{ м.} \quad (2.8)$$

Розрахуємо радіус прямого кругового конуса:

$$r_{x6} = 15,35 \cdot \operatorname{tg}(53,94^\circ) = 21,08 \text{ м.} \quad (2.9)$$

Блискавковідводів Б-5 має таку ж саму висоту, що і блискавковідвід Б-3, тому розрахунок їхньої максимальної зони захисту той самий.

Результати розрахунку зон захисту блискавковідводів наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Результати розрахунків максимальних зон захисту всіх блискавковідводів на максимальній висоті встановлення високовольтного обладнання

№ блискавкоприймача	Максимальна зона захисту на висоті h_x	клас LPS
Б-1	$r_{к1} = 15,48$ м	II
	$r_{к2} = 16,92$ м	III
Б-2	$r_{к3} = 15,48$ м	II
	$r_{к4} = 16,92$ м	III
Б-3	$r_{к5} = 16,92$ м	III
	$r_{к6} = 21,08$ м	III
Б-4	$r_{к7} = 16,92$ м	III
Б-5	$r_{к8} = 16,92$ м	III
	$r_{к9} = 21,08$ м	III
Б-6	$r_{к10} = 16,92$ м	III

2.4 Визначення характеристик заземлення

Під час проектування системи заземлення необхідно врахувати низку визначальних чинників, які є незмінними та заданими умовами. До таких чинників належать: 1) величина струму короткого замикання на землю, а точніше - струм, на який має бути розрахований заземлювач; його значення залежить від потужності енергосистеми, рівня напруги в мережі та місцезнаходження проектного енергооб'єкта в межах енергосистеми; 2) площа ділянки, де буде розташований заземлювач, а також характеристики ґрунту - ключові параметри, що визначають опір заземлювальної системи та її потенціал $U_z = I_z r_z$; 3) тривалість протікання струму через заземлювач або час відключення пошкодженої ділянки системи, що зумовлює допустиму напругу дотику. У розпорядженні проектувальника залишається обмежений вибір засобів для забезпечення безпечного дотику до заземлених елементів. Вони зводяться до таких заходів: а)

використання всіх можливих способів зменшення опору заземлювача, наприклад, шляхом збільшення кількості та довжини вертикальних провідників; застосування природних заземлювачів; б) ретельне вирівнювання потенціалу на поверхні ґрунту з метою зниження напруги дотику при заданому потенціалі заземлювача; в) штучне підвищення питомого опору верхнього шару ґрунту в зовнішніх пристроях; використання гумових килимків у внутрішніх спорудах для зменшення струму, що може протікати через людину.[5]

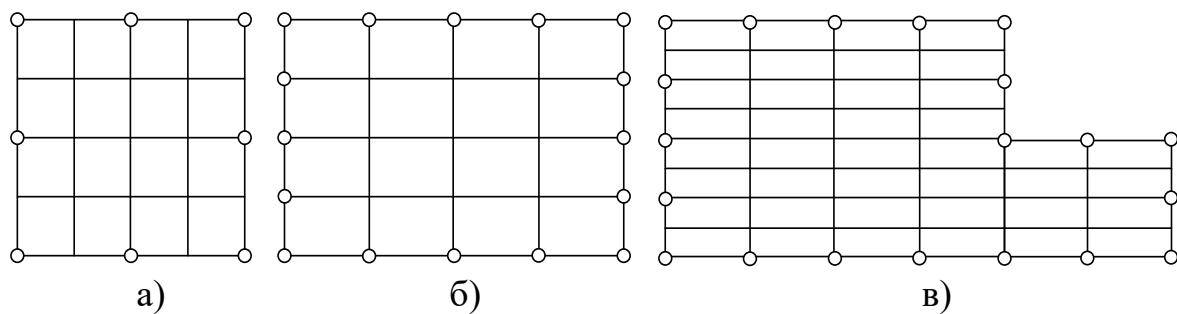


Рисунок 2.5 - Типові схеми заземлювачів типу сітки.

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

Для створення сітчастого заземлювального пристрою можна застосовувати оцинковану сталеву сітку з типовим розміром осередку 5 метрів, яку приварюють або механічно кріплять до арматурних стрижнів зазвичай з кроком 1 метр. Кінці провідників сітки можуть слугувати заземлювальними провідниками для з'єднувальних смуг. На рисунку 2.6 наведено приклад конструкції сітчастого заземлювального пристрою. Зв'язок між заземлювачем і системою з'єднань утворює заземлення. Головним призначенням системи заземлення є зменшення різниці електричних потенціалів між будь-якими точками будівлі та обладнання. Це реалізується шляхом створення численних паралельних шляхів для протікання струмів блискавки та наведених струмів, які формують розгалужену мережу з низьким опором у широкому діапазоні частот. Велика кількість паралельних провідників мають різні резонансні характеристики. Сукупність багатьох контурів,

опори яких змінюються залежно від частоти, утворюють єдину розподілену систему з загально низьким опором для перешкод у розглядуваному спектральному діапазоні.

Належно спроектована та виконана система заземлення забезпечує рівномірний розподіл струмів блискавки та наведених струмів, запобігаючи виникненню небезпечних перепадів напруги. Це досягається створенням багатьох провідних шляхів із малим опором, які об'єднані в розгалужену сітку. Таким чином, забезпечується надійний відвід струмів у землю та захист обладнання і персоналу від ризиків, пов'язаних з блискавками та електромагнітними перешкодами.

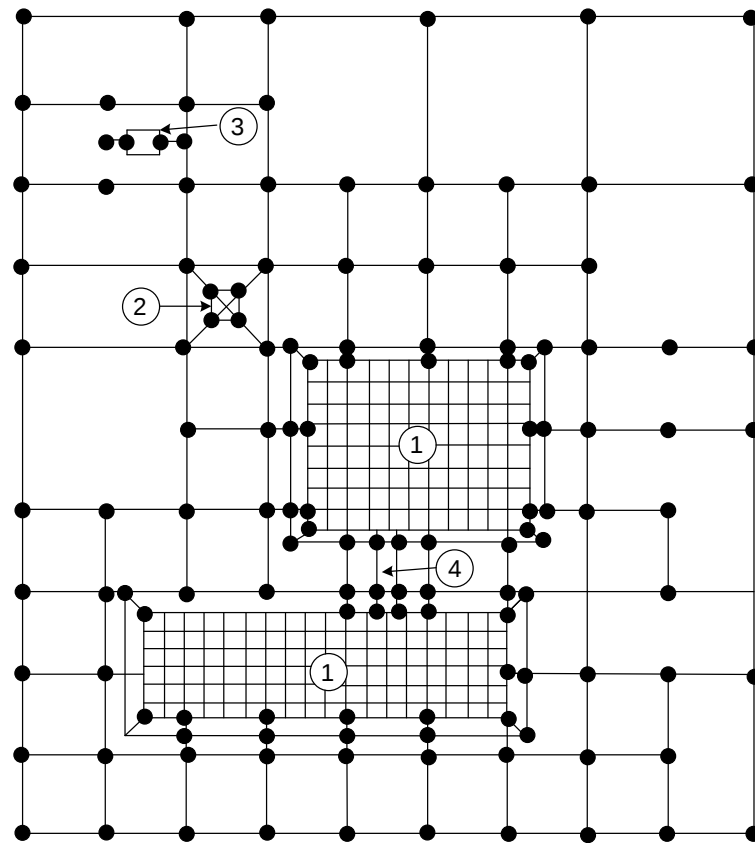


Рисунок 2.6 – сітковий заземлюючий пристрій промислових будівель: 1 – будівля, 2 – башня, 3 – обладнання, 4 – кабельний лоток.

Відповідно до технічних вимог, через високий питомий опір ґрунту $\rho = 10 \cdot 10^2 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, не передбачається використання природних заземлювачів. У цьому випадку необхідно додатково укласти штучні заземлювальні пристрої -

контури на дні котловану, до яких мають бути підключені променеві заземлювачі. Така конструкція штучних заземлювачів забезпечить належні параметри системи заземлення відповідно до вказаних у технічному завданні питомих опорів ґрунту на майданчику будівництва.

Розрахунки опору контурного заземлювача:

$$R_{\text{конт}} = \frac{\rho}{2\pi^2 D_{\text{екв}}} \left(\ln \frac{8D_{\text{екв}}}{d} + \frac{\pi \cdot D_{\text{екв}}}{4l} \right) = \frac{10 \cdot 10^2}{2 \cdot 3,14^2 \cdot 5,3} \left(\ln \frac{8 \cdot 5,3}{0,012} + \frac{3,14 \cdot 5,3}{4 \cdot 2,5} \right) = 94 \text{ Ом} \quad (2.10)$$

$$\text{де } D_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{4A^2}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,7^2}{3,14}} = 5,3 \text{ м}. \quad (2.11)$$

Опір контуру з урахуванням збільшення в разі висихання ґрунту:

$$R_{\text{конт}} = 94 \cdot 1,1 = 103,4 \text{ Ом}. \quad (2.12)$$

Опір виводу:

$$R_{\text{вив}} = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \ln \frac{4l}{d} = \frac{10 \cdot 10^2}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \ln \frac{4 \cdot 2,5}{0,012} = 428 \text{ Ом} \quad (2.13)$$

а з урахуванням висихання ґрунту:

$$R_{\text{вив}} = 428 \cdot 1,3 = 556,4 \text{ Ом}. \quad (2.14)$$

Опір системи “контур-чотири виводи”:

$$R_2 = \frac{R_{\text{конт}} \cdot \frac{R_{\text{вив}}}{n}}{R_{\text{конт}} + \frac{R_{\text{вив}}}{n}} \cdot \frac{1}{\eta} = \frac{103,4 \cdot \frac{556,4}{4}}{103,4 + 139,1} \cdot \frac{1}{0,8} = 740 \text{ Ом} \quad (2.15)$$

Опір природних заземлювачів (підножників):

$$R_1 = 20 \cdot \frac{5}{3} = 33,5 \text{ Ом} \quad (2.16)$$

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

$$R_1 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1}{\eta} = \frac{33,5 \cdot 74}{33,5 + 74} \cdot \frac{1}{0,85} = 27 \text{ Ом} \quad (2.17)$$

Для всієї опори:

$$R_{\text{опори}} = \frac{R}{2} \cdot \frac{1}{\eta} = \frac{27}{2} \cdot \frac{1}{0,9} = 15 \text{ Ом} \quad (2.18)$$

Розрахункове значення опору заземлювального пристрою відповідає вимогам Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), а також забезпечує надійну роботу релейного захисту. Згідно з умовами чутливості релейного захисту ліній під час замикань на опору або за участю грозозахисного тросу, опір заземлювальних пристроїв не повинен перевищувати 50-70 Ом. Для ефективної дії однофазного автоматичного повторного вмикання (ОАПВ) при однофазних коротких замиканнях на опорі або за участю тросу опір заземлювальних пристроїв має бути в межах 20-80 Ом. Окрім того, допустимий опір заземлювальних пристроїв нормується залежно від висоти опори лінії електропередачі.

За дії імпульсних струмів блискавки опір заземлення буде таким:

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

$$R_{i.конт} = R_{конт} \cdot \alpha_i = 103,4 \cdot 0,5 = 51,7 \text{ Ом} \quad (2.19)$$

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

$$R_{i.вив} = R_{вив} \cdot \alpha_i = 556,4 \cdot 0,7 = 390 \text{ Ом} \quad (2.20)$$

Імпульсний опір системи “контур – чотири виводи”:

$$R_{i2} = \frac{51,7 \cdot \frac{390}{4}}{51,7 + 97,3} \cdot \frac{1}{0,7} = 48,265 \text{ Ом} \quad (2.21)$$

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

$$R_{i.підн.} = R_{підн.} \cdot \alpha_i = 0,85 \cdot 48 \cdot \frac{5}{3} = 68 \text{ Ом} \quad (2.22)$$

Опір чотирьох підножників:

$$R_{i1} = \frac{68}{4 \cdot 0,4} = 42,5 \text{ Ом} \quad (2.23)$$

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

$$R_i = \frac{48,265 \cdot 42,5}{48,265 + 42,5} \cdot \frac{1}{0,75} = 30 \text{ Ом} \quad (2.24)$$

Для всієї опори:

$$R_{i.опори} = \frac{30}{2} \cdot \frac{1}{0,8} = 18,75 \text{ Ом} \quad (2.25)$$

3 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ ГРОЗОЗАХИСТУ

3.1 Техніко-економічний аналіз: витрати, ризики, ефективність

Для запобігання негативних наслідків від ударів блискавки необхідно вживати цілеспрямованих захисних заходів для будівельних споруд. Стандарт EN 62305-2:2012-03 описує підхід керування ризиками, що ґрунтується на оцінці ризиків, за допомогою якої можна визначити доцільність захисту будівлі від ураження блискавкою. Основна мета керування ризиками - зниження ризику до прийнятного рівня шляхом впровадження відповідних захисних заходів.

Для виявлення можливих ризиків розглядається об'єкт без жодних захисних систем (поточний стан). Ймовірність виникнення небезпечних наслідків, спричинених прямими чи непрямыми ударами блискавки в будівлю та її комунікації, називають ризиком можливих втрат R. Цей ризик R враховує потенційні втрати протягом року.[6]

Виходячи з характеристик будівлі: типу споруди та її призначення, для даного об'єкта були визначені та розглянуті наступні ризики:

Ризик R1: Ризик загибелі та травмування людей;

RT: 1,00E-05 (10-5)

Ризик R2: Ризик втрати можливості надавати громадські послуги;

RT: 1,00E-05 (10-3)

Ризик R4: Ризик економічних збитків;

Значення прийнятного ризику RT були визначені при виборі розглянутих ризиків.

Основне завдання при проведенні аналізу ризику - зменшити ймовірність наявного ризику до його прийнятного (допустимого) значення RT за допомогою впровадження цілеспрямованих заходів захисту.

Основним параметром для оцінки ризику відповідно до EN 62305-2: 2012-03 є щільність ударів блискавки в землю N_g . Він визначає кількість ударів блискавки на 1 km^2 в рік. Для регіону де знаходиться Об'єкт це значення було визначено по карті

частоти та інтенсивності виникнення гроз і становить 4,4 удари блискавки на 1 km² в рік. В результаті розрахунку визначається кількість грозових днів на рік, у області району це значення становить 44,0 дні.

Виходячи з цього, отримані значення:

- територія, ураження прямими ударами блискавки 13 598 м²
- територія, ураження непрямыми ударами блискавки 835 908 м².

При співвідношенні щільності ударів блискавки в землю до розміру будівлі і його розташування, очікувана кількість прямих ударів блискавки $N = 0,0598$ ударів в рік, непрямих ударів блискавки в будівлю $N = 3,67$ ударів в рік.

Будівлю розглядаємо як одну блискавкозахисну зону. Час, коли люди знаходяться в зоні, годин на рік – 645 годин.

При проведенні оцінки ризику повинні бути враховані всі лінії комунікацій, які входять, так і виходять. Удари блискавки в електропровідний трубопровід не розглядають як джерело пошкодження якщо труби з'єднані з шиною заземлення. Якщо таке з'єднання відсутнє, загроза пошкодження також повинна бути розглянута (з урахуванням вимог зрівнювання потенціалів).

При проведенні оцінки ризику для будівлі була розглянута наступна лінія комунікацій:

Лінія 1:

Тип прокладки ліній: повітряний

Тип ліній комунікацій: лінії електропередачі

Трансформатор: Лінія передачі з високовольтним/низьковольтним розділовим трансформатором

Екранування комунікацій: повітряні лінії або неекрановані підземні лінії

Довжина ділянки ліній комунікацій зовні будівлі до наступного розгалуження становить 1000,00 м.

Підключене до лінії 1 електрообладнання має наступну стійкість до імпульсних перенапруг $U_w > 4,0$ кВ.

Спосіб прокладки ліній комунікацій всередині будівлі: неекранований кабель - без запобіжних заходів для уникнення петель.

Таким чином, визначено наступні значення:

Площа області захисту при ударі блискавки в лінію комунікацій 40 000 м²

Площа області захисту при ударі блискавки біля ліній комунікацій: 4 000 000 м²

Лінія 2:

Тип прокладки ліній: повітряний

Тип ліній комунікацій: лінії електропередачі

Трансформатор: Лінія передачі з високовольтним/низьковольтним розділовим трансформатором

Екранування комунікацій: повітряні лінії або неекрановані підземні лінії

Довжина ділянки ліній комунікацій зовні будівлі до наступного розгалуження становить 1000,00 м.

Підключене до лінії 1 електрообладнання має наступну стійкість до імпульсних перенапруг $U_w > 4,0$ кВ.

Спосіб прокладки ліній комунікацій всередині будівлі: неекранований кабель - без запобіжних заходів для уникнення петель.

Таким чином, визначено наступні значення:

Площа області захисту при ударі блискавки в лінію комунікацій 40 000 м²

Площа області захисту при ударі блискавки біля ліній комунікацій: 4 000 000 м²

Для людей, які знаходяться як за межами, так і всередині будівлі, були визначені наступні значення ризику (рис. 3.1):

- допустиме значення ризику R_T : $1,00 \times 10^{-5}$
- розрахункове значення ризику R_1 (без захисту): $4,51 \times 10^{-4}$
- розрахункове значення ризику R_1 (з захистом): $8,35 \times 10^{-6}$

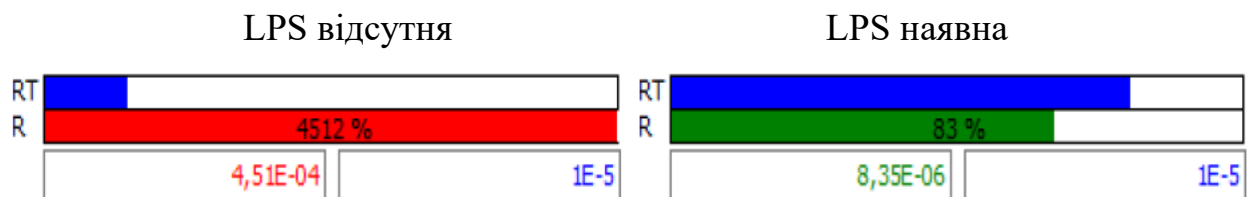


Рисунок 3.1 - визначення ризику для людей

Для захисту будівлі обрано LPS Клас II та урівнювання потенціалів для рівня захисту I, Попереджуючі таблички, елементи арматури або металічний каркас будівлі, використані в якості струмовідводів, екранування внутрішніх систем споруди - розмір ризику відповідає критерію згідно ДСТУ EN 62305-2:2012

Ризик втрати людського життя для об'єкту без захисту в 45,1 разів перевищує норму.

Використання LPS II класу вирішує дану проблему, при цьому значення ризику $8,35 \times 10^{-6}$ знаходиться в межах допустимого.

Ризик втрати можливості надання громадських послуг визначають наступним чином (рис 3.2):

- допустиме значення ризику R_T : $1,00 \times 10^{-3}$
- розрахункове значення ризику R_2 (без захисту): $7,28 \times 10^{-4}$
- розрахункове значення ризику R_2 (з захистом): $1,98 \times 10^{-5}$

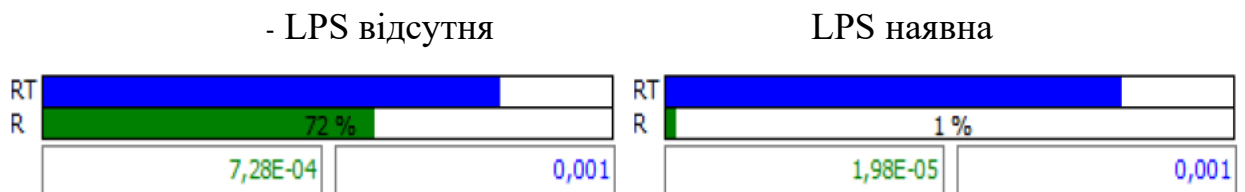


Рисунок 3.2 - визначення ризику втрат можливості надання громадських послуг

Для економічної оцінки втрат, було проведено порівняння ризиків R_4 :

- Об'єкт (Актуальний стан об'єкту)
- Об'єкт (Необхідний стан об'єкту)

Результат цього аналізу повинен показати чи є витрати на впровадження заходів захисту від блискавки економічно доцільними по відношенню до вартості будівлі (споруди) та її вмісту.

- i - Процентна ставка: 25%
- at - Час амортизації: 10 років
- a - Коефіцієнт амортизації: 10%
- m – Коефіцієнт вартості тех. обслуговування: 5%

Вартість систем захисту – 75 000 грн

Вартість загальних втрат внаслідок удару блискавки за відсутності заходів захисту становить:

CL 595 809,89 грн/рік

Вартість залишкових втрат внаслідок удару блискавки під час застосування заходів захисту становить:

CRL 40 772,81 грн/рік

Вартість заходів захисту на рік з урахуванням періоду амортизації 10,00 років становить:

CPM 30 000,00 грн/рік

Щорічна економія коштів становить:

SM - 525 037,08 грн/рік

Таким чином, застосування заходів захисту від блискавки є доцільним.

Таблиця 3.1 - Результати розрахунку сумарного ризику:

Рівень ризику	LPS відсутня	LPS наявна	R _t
R ₁	45,1	0,835	10 ⁻⁵
R ₂	0,728	0,0198	10 ⁻³
R ₃	-	-	10 ⁻⁴
R ₄	Ймовірні втрати при відсутності заходів захист від блискавки, грн/рік		595 809,89
	Ймовірні втрати при наявності заходів захист від блискавки, грн/рік		40 772,81

Розрахунок проведено за допомогою програмного забезпечення DEHNSupport у відповідності до EN 62305-2: 2012-03.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Розділ з охорони праці бакалаврської роботи направлений на розробку системи заходів з безпечної експлуатації системи грозозахисту. На оперативно-ремонтний персонал, що здійснює їхнє обслуговування, впливають такі фізичні, хімічні та трудового процесу небезпечні та шкідливі виробничі фактори [7, 8]:

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 [9]:

- 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 височастотного 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 замінування 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 замінування і монтажу проводів ПЛЗ у зоні наведеної напруги, комунікацій та інтенсивного руху транспорту;
- з улаштування щоглових переходів, замінування 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 височастотних 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.

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 огорожувати;

- 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;

- огорожити, 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 [9], 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/м3		Клас небезпечності
Пил нетоксичний	Максимально разова	Середньо добова	4
	0,5	0,15	

Для забезпечення параметрів мікроклімату та складу повітря робочої зони відповідно до проектом 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 комбіновано го освітлення		Природн є Ен пр	Сумісн є Е сум
						всь ого	у т. ч. від загальног о		
Середн ьої точност і	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	г	середній великий великий	світлий світлий середні й	-	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, перфатори, 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								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових	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 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, перфоратори, 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-III (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 II ступенем вогнестійкості. До II 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 хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площадки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	перекрыття між поверхів (у т.ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки)				плити, настінні, прогонні	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 хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбуру-шлюзу, 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 16 вогнегасників ВП-5.

ВИСНОВОК

У представленій дипломній роботі було виконано комплексне дослідження та розробку оптимальної системи грозозахисту для підстанцій. На основі ретельного вивчення теоретичних засад та нормативних вимог було розраховано та спроектовано блискавкозахист для ключових об'єктів підстанції - силових трансформаторів, ошиновки та будівлі з пусково-налагоджувальним обладнанням.

Застосовуючи метод захисного кута згідно міжнародного стандарту IEC 62305-3, було визначено необхідні параметри блискавковідводів та радіуси їхніх зон захисту для забезпечення належних класів блискавкозахисту згідно з призначенням обладнання. Результати зведено у таблицю для зручності проектування блискавкозахисної системи.

Одним із ключових аспектів роботи стала оцінка економічної ефективності та техніко-економічний аналіз впровадження системи грозозахисту. Було визначено капітальні та експлуатаційні витрати, очікувані вигоди від запобігання ризикам пошкодження обладнання блискавками. Розраховано показники окупності проекту. Результати засвідчили високу економічну доцільність впровадження запропонованої системи грозозахисту.

Крім того, проаналізовано потенційні технічні, виробничі, експлуатаційні та нормативно-правові ризики при реалізації проекту. Запропоновано шляхи мінімізації виявлених ризиків шляхом ретельного планування, залучення кваліфікованого персоналу, створення резервів.

Практична реалізація представленого проекту дозволить забезпечити надійний грозозахист підстанції відповідно до діючих норм, знизити ризики пошкодження дорогого обладнання блискавками, підвищити безпеку персоналу та уникнути витрат на аварійні ремонти.

У подальшому перспективним напрямком є розгляд альтернативних активних систем грозозахисту, дослідження впливу блискавок на цифрове обладнання релейного захисту підстанцій з розробкою додаткових заходів захисту

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ю.П. Войтюк, Д.Г. Писаренко. Монтаж пристроїв блискавкозахисту будівель та споруд. Навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2021. – 93с.

Режим доступу: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Vojtjuk_2021_94.pdf

2. Інтернет джерело. Режим доступу: <https://tdsb.com.ua/gromostar/>

3. Інтернет джерело. Режим доступу: <https://leocorp.com.ua/company/>

4. В. С. Собчук, Н. В. Собчук, О. В. Слободянюк. Нормування тривалості перебування людини в зоні впливу електричного поля високовольтних установок промислової частоти.

Режим доступу: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/342/340>

5. Собчук В.С., Бурикін О.Б., Собчук Н.В. Перенапруги і блискавкозахист в електричних системах: Навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2011. – 145 с.

Режим доступу: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/feeem/3sobchuk_perenapruga_blyskavkozahyst_elektrychnyh_systemah/

6. Ліщак І. В. Оцінка надійності схем грозозахисту повітряних ліній електропередавання / І. В. Ліщак, Т. В. Бінкевич //Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2014. – № 785 : Електроенергетичні та електромеханічні системи.

7. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.

8. 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->

9. ДНАОП 1.1.10-1.01-97 Правила безпечної експлуатації електроустановок. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=21826.

10. 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.
11. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.
12. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.
13. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.
14. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885
15. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.
16. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.
17. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.
18. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: <https://dwg.ru/dnl/15125>.
19. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. URL: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>.
20. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.
21. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf.

22. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Розробка та оптимізація системи грозозахисту для ефективного захисту підстанцій.

Тип роботи: Бакалаврська дипломна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра електричних станій та систем, факультет електроенергетики та електромеханіки
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність _____ Схожість _____

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☐ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- ☐ 3. 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.

Особа, відповідальна за перевірку _____
(підпис)

Вишневський С.Я.
(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи _____
(підпис)

Кармазін Б.М.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Собчук Н.В.
(прізвище, ініціали)

ДОДАТОК Б
ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

ДОДАТОК А

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА
НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Розробка та оптимізація системи грозозахисту для ефективного захисту підстанцій.

Тип роботи: Бакалаврська дипломна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра електричних станій та систем, факультет електроенергетики та електромеханіки

(кафедра, факультет)

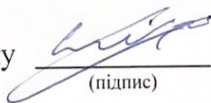
Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 98,1 % Схожість 1,9 %

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☒ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- ☐ 3. 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.

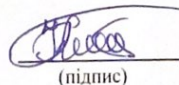
Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Вишневський С.Я.
(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Кармазін Б.М.
(прізвище, ініціали)

Сервітник роботи

(підпис)

Собчук Н.В.
(прізвище, ініціали)