

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

Бакалаврська дипломна робота на тему:

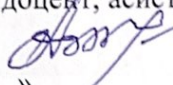
ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ЗАХИСТ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ВІД
АТМОСФЕРНИХ ПЕРЕНАПРУГ

Виконав: студент 4 курсу групи Е-22мез
спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
за ОП «Електроенергетика та електротехніка та
електромеханіка»



Юревич С. Ю.

Керівник: К.т.н., доцент, асистент каф. ЕСС



Адлер О. О.

«___» _____ 2024 р.

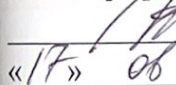
Рецензент: К.т.н., доцент каф. ЕСС Е



Востук І. Н.

«___» _____ 2024 р.

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



«17» _____ 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» 06 2024р.

ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Юревичу Сергію Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. «Дослідження засобів захист електрообладнання від атмосферних перенапруг»

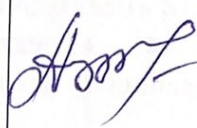
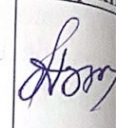
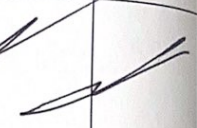
Керівник роботи К.т.н., доцент, асистент каф. ЕСС Адлер О.О.
затверджена наказом вищого навчального закладу від 11.03.2024 року № 80

2. Термін подання студентом роботи 06 червня 2024 року
3. Вихідні дані до роботи: Перелік літературних джерел за тематикою роботи:
Лежнюк П. Д., Лагутін В. М., Тептя В. В. Проектування електричної частини
електричних станцій: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2009. 194 с. Посилання
на періодичні видання. Вихідні дані для проведення обчислювальних експериментів:
Розміри ВРП 330 та 750 кВ Параметри ґрунту необхідні для розрахунку заземлення

4. Зміст текстової частини: Вступ. 1. Розряд блискавки як джерело атмосферних
перенапруг. 2. Грозозахист будівель і споруд електричних станцій 3. Розрахунок
захисту від атмосферних перенапруг 4. Охорона праці. Висновки. Список
використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) . Розряд блискавки як джерело атмосферних перенапруг. 2. Грозозахист
будівель і споруд електричних станцій 3. Розрахунок захисту від атмосферних
перенапруг 5. Охорона праці. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

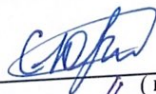
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконано прий
Спеціальна частина	Керівник роботи Адлер О. О., к.т.н., доц., асистент кафедри ЕСС		
Охорона праці	Кобилянський О. В. д.п.н., проф., завідувач каф. БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання 16 січня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

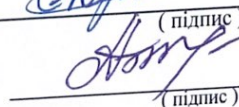
№ з/п	Назва та зміст етапів	Термін виконання етапів роботи	
		початок	кінець
1	Вступ. Огляд літературних джерел	21.01.24	15.02.24
2	Розряд блискавки як джерело атмосферних перенапруг.	16.02.24	15.03.24
3	Грозозахист будівель і споруд електричних станцій	16.03.24	10.04.24
4	Розрахунок захисту від атмосферних перенапруг	11.04.24	11.05.24
5	Охорона праці	12.04.24	19.05.24
6	Формування висновків по роботі. Оформлення пояснювальної записки	20.05.24	24.05.24
7	Виконання ілюстративної частини та оформлення презентації	25.05.24	04.06.24
	Перевірка БДР на плагіат. Попередній захист БДР	05.06.24	07.06.24
	Рецензування БДР	08.06.24	10.06.24
	Захист БДР	За графіком	

Студент


(підпис)

С.Ю. Юревич

Керівник роботи


(підпис)

О. О. Адлер

АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка виконана на 80 листах друкованого тексту і містить 3 таблиці, 21 рисуноків, при виконанні роботи було використано 10 літературних джерел. Пояснювальна записка складається з вступу, трьох розділів, висновку, списку літератури.

В роботі проведено аналіз захистів електроустановок від атмосферних перенапруг, з розвитком розряду блискавки, проведено розрахунок заземлення та розрахунок блискавкозахисту для ВРП високої напруги 330 та 750 кВ.

Для вирішення даної задачі були використані програми – Word, Visio, MathCad.

ABSTRACT

The explanatory note is made on 80 sheets of printed text and contains 3 tables, 21 figures, 10 literary sources were used during the work. The explanatory note consists of an introduction, three sections, a conclusion, and a list of references.

In the work, an analysis of the protection of electrical installations against atmospheric overvoltages, with the development of lightning discharges, the calculation of grounding and the ca

lculatation of lightning protection for high-voltage VRP of 330 and 750 kV was carried out.

To solve this problem, programs were used - Word, Visio, MathCad.

ЗМІСТ

	Вступ.....	6
1	Розряд блискавки як джерело атмосферних перенапруг	8
1.1	Розвиток розряду блискавки.....	8
1.2	Параметри блискавки	16
1.3	Атмосферні перенапруги. Електромагнітне поле каналу блискавки	19
2	Грозозахист будівель і споруд електричних станцій.....	24
2.1	Класифікація будівель і споруд.....	24
2.2	Захист підстанцій від прямих ударів блискавки.....	37
2.3	Захист підстанцій від атмосферних перенапруг.....	44
2.4	Грозозахист машин, що обертаються.....	52
3	Розрахунок захисту від атмосферних перенапруг.....	58
3.1	Розрахунок заземлення для ВРП високої напруги 330 кВ.....	58
3.2	Розрахунок блискавкозахисту для ВРП 330 кВ.....	60
3.3	Розрахунок заземлення для ВРП високої напруги 750 кВ.....	62
3.4	Розрахунок блискавкозахисту для ВРП 750 кВ.....	63
4	ОХОРОНА ПРАЦІ	67
4.1	Технічні рішення з безпечної організації будівельно-монтажних робіт..	67
4.1.1	Технічні рішення з безпечної організації робочих місць.....	68
4.1.2	Електробезпека	69
4.2	Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	70
4.2.1	Мікроклімат	71
4.2.2	Склад повітря робочої зони	73
4.2.3	Виробниче освітлення	74
4.2.4	Виробничий шум	75
4.3	Пожежна безпека	77
	Висновки.....	78
	Перелік літературних джерел.....	79
	Додаток А (обов'язковий). Протокол перевірки навчальної (дипломної) роботи	
	Додаток Б (обов'язковий). Ілюстративна частина	82

ВСТУП

Актуальність теми. Тема дослідження засобів захисту електрообладнання від атмосферних перенапруг має велике значення у контексті забезпечення безперебійної роботи електричних систем у сучасному технологічному середовищі. Застосування відповідного захистового обладнання є критичним для запобігання збоїв у роботі обладнання та зниження економічних збитків, пов'язаних з перервами в електропостачанні. Розвиток нових методів і технологій захисту від атмосферних перенапруг спрямований на забезпечення високої надійності та стійкості електричних систем під час впливу небезпечних погодних умов. Постійний аналіз і вдосконалення захисних стратегій є необхідним для ефективного управління ризиками та забезпечення безпеки електрообладнання та користувачів. Дослідження у цій області сприяє розробці інноваційних рішень, що забезпечують оптимальний баланс між ефективністю захисту, вартістю та експлуатаційною надійністю електричних систем у високоризикових умовах.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є дослідження засобів захист електрообладнання від атмосферних перенапруг.

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

1. Атмосферні перенапруги. Електромагнітне поле каналу блискавки;
2. Дослідження грозозахисту будівель і споруд електричних станцій;
3. Розрахунок захисту від атмосферних перенапруг.

Об'єктом дослідження роботи є електрична мережа, а **предметом дослідження** – засоби захист електрообладнання від атмосферних перенапруг.

1 РОЗРЯД БЛИСКАВКИ ЯК ДЖЕРЕЛО АТМОСФЕРНИХ ПЕРЕНАПРУГ

1.1 Розвиток розряду блискавки

Гроза і блискавка – величні явища природи – цікавлять людство з часів глибокої давнини і донині та, незважаючи на пильну увагу дослідників, не вивчені цілком. До вісімнадцятого сторіччя всі знання обмежувались здогадками і малоймовірними припущеннями, хоча вже в древньому Єгипті розуміли, що від грози потрібно захищати високі будинки, і жерці застосовували щогли, оббиті мідними листами для «викрадення небесного вогню». Наукове вивчення гроз почалося з робіт Франкліна, Ломоносова, які дали перші матеріалістичні пояснення утворення в хмарах електричних зарядів, і петербурзького академіка Ріхмана, що загинув від блискавки під час одного з дослідів, і особливо посилилося в останні десятиліття. Будівництво високовольтних ліній електропередач і розвиток радіозв'язку стимулювали вивчення грозових розрядів. У райони з великою грозовою інтенсивністю знаряджались спеціальні експедиції. Ще перед другою світовою війною за допомогою найпростіших пристроїв були проведені значні вимірювання струмів блискавки. Пізніше для вивчення виникнення і механізму розряду блискавки почали застосовувати методи швидкісного фотографування (СФР), осцилографування і радіолокації.

У зв'язку з розвитком високовольтних ЛЕП і авіації знадобилися серйозні дослідження, зокрема, що стосуються метеорологічного характеру грозових хмар і спрямовані на вивчення грозової хмари як джерела блискавки. Дуже цікаві результати дали дослідження в США з літаків, що проходять через грозові хмари на різних висотах (вимірювання напруженостей електричного поля всередині грозових хмар), і наземні вимірювання електричного поля і загального заряду блискавки, що стікає в землю.

За сучасними поглядами грозова хмара в нижніх прошарках (рисунк 1.1) має переважно негативні заряди, а у верхніх прошарках - позитивні заряди, причому розподіл зарядів нерівномірний. Негативні заряди звичайно розміщуються в

окремих, ізольованих один від одного об'ємах, розташованих по вертикалі. В нижніх прошарках хмари також може виникати скупчення позитивного об'ємного заряду, що часто, збільшує напруженість в області скупчення негативних зарядів і відіграє роль ініціатора розряду. Деяка частина позитивного об'ємного заряду може бути розташована також під хмарою. Оскільки в грозовій хмарі є декілька скупчень об'ємного заряду, то розряд блискавки звичайно буває багатократним, в середньому складається з трьох компонентів, хоча іноді число компонентів може досягати навіть 10-20.

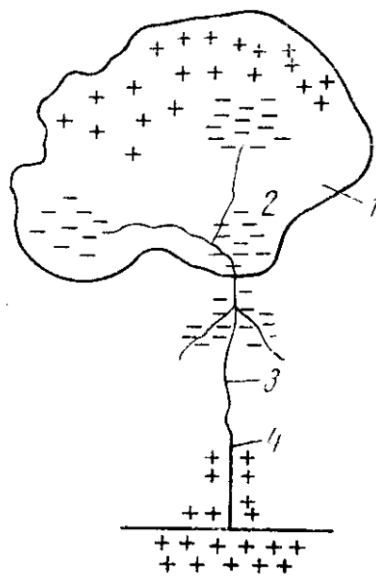


Рисунок 1.1 - Розподілення зарядів в грозовій хмарі і розвиток розряду блискавки:

1 – грозова хмара; 2 – скупчення об'ємного заряду; 3 – канал лідера; 4 – канал зворотного (головного) розряду

Кожна компонента розряду блискавки складається з лідерного і головного розрядів.

Дослідження за допомогою швидкісних фотокамер показують, що лідерний розряд розвивається ступінчасто. Спочатку від скупчення негативних об'ємних зарядів, де напруженість досягає критичної величини 25 - 30 кВ/см (у середньому напруженість поля хмара-земля рідко перевищує 1 кВ/см), вниз до землі

поширюється лідер-пілот із швидкістю $1,5 \cdot 10^7$ см/с, а за ним періодично виникають «сходинки».

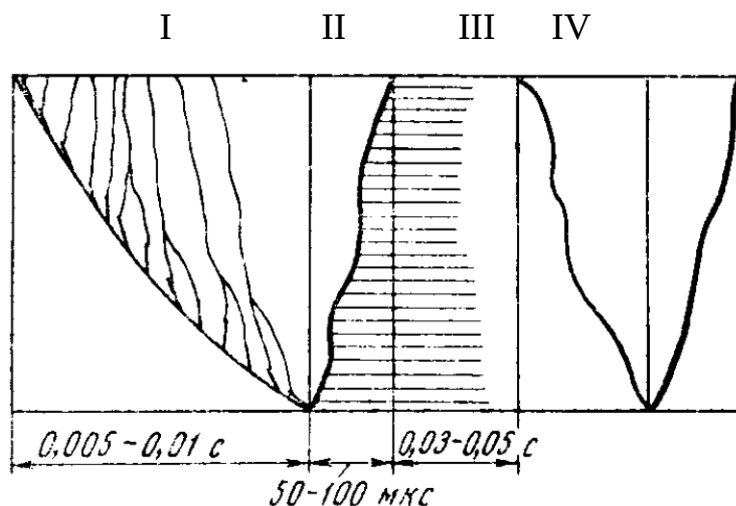


Рисунок 1.2 - Фоторозгортка розряду блискавки:

I – ступеневий лідер; II – головний розряд; III – стрілоподібний лідер; IV – другий головний розряд

Швидкість просування щаблів дорівнює $5 \cdot 10^8$ см/с, час просування щабля біля 1 мкс. Навколо каналу лідера утворюється коронний чохол («пряма» корона), що являє собою зону попередньої іонізації. Корона розвивається у вигляді окремих ниток, а перетворення однієї з ниток у канал провідної плазми створює щабель лідера, що супроводжується яскравим спалахом, який добре фіксується на фоторозгортці (рисунок 1.2). Одночасно збільшується свічіння всього каналу.

Найбільш ймовірною причиною утворення щабля лідера можна вважати збільшення градієнта потенціалу на кінці лідера при збільшенні розмірів області попередньої іонізації і при зростанні частки напруги, що припадає на нитку корони. Перед самою головкою лідера виникає невеличка перехідна зона з градієнтами, значно більшими критичного, що і створює умови для інтенсивної іонізації повітря уздовж однієї з ниток коронного чохла. Швидкість лідера порівняно невелика, тому що дуже різна щільність іонізованих часток до і після перехідної зони. Лідер має надлишковий заряд того ж знака, що знак об'ємного скупчення, звідки він починає розвиток. Розподілений вздовж лідера надлишковий заряд зсувається в зону

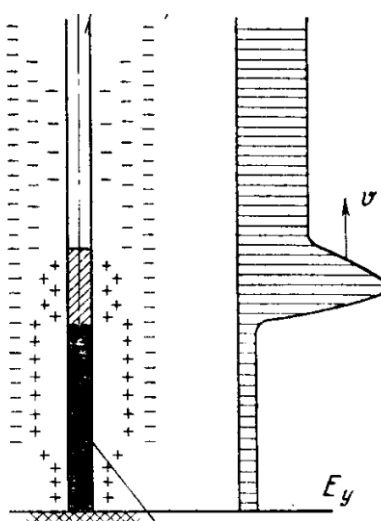
іонізації, причому це відбувається поступово, в міру розвитку щабля. У першому наближенні можна вважати, що до моменту остаточного розвитку щабля область іонізації можна уявити клинчастої форми.

Стікання з хмари надлишкового негативного заряду створює невеличкий струм лідера, який змінюється повільно. Напрямок удару блискавки визначено або рельєфом місцевості або наявністю об'єкта, що височіє. Під впливом поля лідера, що опускається до землі, безпосередньо під грозовою хмарою в землі або на елементах провідного об'єкта індукується заряд. Знак цього заряду протилежний знаку заряду каналу лідера. Напруженість поля є найбільшою уздовж силової лінії, що з'єднує головку лідера і місце найбільшої концентрації зарядів на поверхні землі або об'єкта, і лідер розвивається саме уздовж цієї силової лінії.

При певній відстані головки лідера від землі напруженість поля на проміжку, що залишився між каналом лідера і землею, починає перевищувати критичну, і в цьому проміжку утворюється провідний канал, на формування якого потрібний якийсь час, що залежить від довжини проміжку. Ступінь іонізації утвореного каналу на порядок вищий ступеню іонізації каналу лідера, тому поздовжній градієнт напруги знижується до дуже невеликого, і канал одержує практично потенціал землі. Заряди уздовж лідерного каналу залишаються і, отже, зберігається утворене цими зарядами електричне поле, тому між каналом, що зародився, і лідером зберігається значна різниця потенціалів. Під дією значних градієнтів поблизу головки лідерного каналу, що майже досягнув землі, виникає інтенсивна іонізація, що приводить до підвищення провідності плазми на декілька порядків. Градієнт у каналі зменшується, а область інтенсивної іонізації переміщається вгору. Утворення каналу високопровідної плазми є головним розрядом, який розвивається від землі до хмари. При головному розряді відбувається перебудова каналу блискавки: поздовжній градієнт зменшується майже до нуля, а надлишковий заряд лідера «нейтралізується». Насправді процес дещо складніший. На поверхні каналу головного розряду, що має потенціал землі, виникає значна радіальна складова НЕП і під її дією – так звана «обернена» корона. Позитивний об'ємний заряд при оберненій короні виноситься на периферію і компенсує поле негативних об'ємних

зарядів. Розподіл зарядів і поздовжніх градієнтів у каналі блискавки зображений на рисунку 1.3.

Переміщення зарядів у режимі оберненої корони йде вже по іонізованому проміжку, тому дуже швидко. Розвиток головного (оберненого) розряду визначається тільки хвильовим іонізаційним процесом у перехідній зоні уздовж каналу лідера. Швидкість розвитку головного розряду лежить у межах $0,05 \div 0,5c$ (c – швидкість світла), залишаючись приблизно постійною при поширенні головного розряду догори.



канал головного розряду

Рисунок 1.3 - Розподіл зарядів і поздовжніх градієнтів в каналі блискавки при ударі в землю

Струм головного розряду, який, власне, і називають струмом блискавки, дорівнює:

$$I_M = \sigma_L(h_t)v(h_t), \quad (1.1)$$

де $\sigma_L(h_t)$ – лінійна щільність зарядів у лідерному каналі, що змінюється по висоті каналу;

$v(h_t)$ – швидкість головного розряду.

За допомогою цієї формули можна визначити, як змінюється струм блискавки в часі, якщо врахувати, що шлях h по вертикалі головний розряд проходить за час

$$t = \int_0^h \frac{dh}{v(h_t)} \text{ або в першому наближенні за } t = \frac{h}{v}.$$

На рисунку 1.4 схематично зображено утворення струму блискавки. Довжина останньої сходинки лідерного процесу і відповідна їй довжина фронту струму блискавки підпорядковуються статистичним закономірностям. Результати спільних вимірювань струмів і крутизни струмів блискавки наведені на рисунку 1.5.3 розкиду точок впливає, що крутизна слабо зростає із зростанням амплітуди струму блискавки. Якщо вважати, що швидкість головного розряду в середньому складає $v=0,15$ с, а довжина останнього шабля лідера близько сотні метрів, то довжина фронту струму блискавки складає: $\tau_\phi = \frac{100 \div 150}{0,15 \cdot 300} = 2 - 3$ мкс. Це, загалом, не суперечить результатам спостережень. На рис. 1.1.5 пунктирна пряма відповідає кореляції дослідних даних, суцільна пряма - довжині фронту 2,5 мкс.

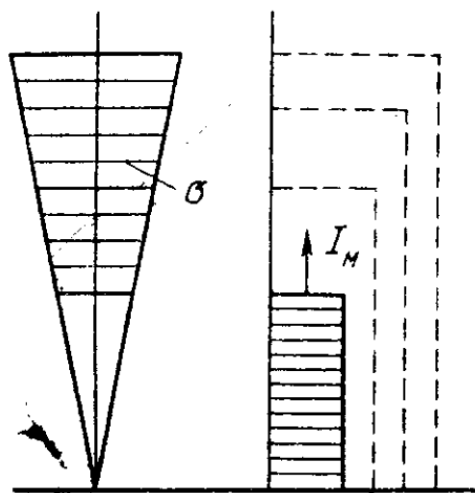


Рисунок 1.4 - Розподіл заряду в останній сходинці лідера і утворення струму
головної каналної стадії при ударі в землю

I_0' , кА/мкс

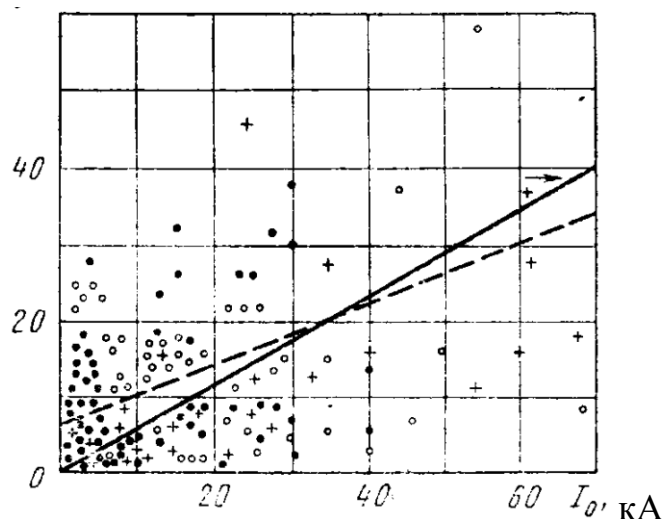


Рисунок 1.5 – Статистична залежність струму блискавки від амплітуди

При ударах блискавки в об'єкти, що височать, з останніх розвиваються зустрічні стрімери. Головноканалний процес буде розвиватися не від землі, а в обидві сторони від місця зустрічі лідера, що опускається від хмари, і стрімера із заземленого об'єкта. При висоті об'єктів 20-30 м довжина зустрічного стрімера за розрахунками становить приблизно 40 м. Утворення зустрічного стрімера дещо збільшує довжину фронту струму блискавки. Це пояснюється тим, що поки головний розряд не заповнить канал зустрічного стрімера, опір його великий, і струм, що протікає через заземлений об'єкт, обмежується.

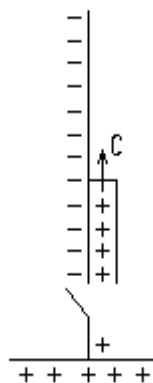


Рисунок 1.6 - Розряд вертикального зарядженого проводу на землю (аналогія утворення каналу головного розряду блискавки)

Процес перебудови лідерного каналу при головному розряді можна уподібнити розряду вертикального зарядженого проводу на землю. Як уздовж каналу, так і вздовж проводу поширюється хвиля позитивних зарядів, що знижує потенціал до нуля (рисунок 1.6). Ця аналогія підказує найпростішу розрахункову модель блискавки. Заряджений до високого потенціалу лідерний канал при зіткненні із землею перетворюється в провідник, по якому поширюється електромагнітний процес із швидкістю, що наближається до швидкості світла.

Розмір струму в місці удару буде залежати і від хвильового опору каналу блискавки і від опору розтікання струму в землі:

$$I_M = \sigma_L v \frac{Z_0}{Z_0 + R_3} = I_0 \frac{Z_0}{Z_0 + R_3}, \quad (1.2)$$

де Z_0 - хвильовий опір каналу блискавки;

R_3 – опір заземлювача при ударі в заземлений об'єкт або опір розтіканню струму при ударі в землю (опір самозаземлення блискавки).

Опір R_3 знижує струм блискавки, але точно оцінити це важко, тому що наведена розрахункова модель умовна, а величина хвильового опору каналу блискавки відома приблизно. Звичайно порядок Z_0 оцінюють у 200-400 Ом. При таких опорах величина струму в об'єкті мало залежить від R_3 (у межах 10% точності), якщо R_3 у межах 20 - 30 Ом. Об'єкти з опором заземлювача меншим 30 Ом називають «добре заземленими».

При ударах у «ізолювані» об'єкти такі як провід лінії електропередачі «заземлений» через свій хвильовий опір струм блискавки, як випливає з формули (1.2), зменшується приблизно вдвічі:

$$I_M = I_0 \frac{Z_0}{Z_0 + Z} \approx \frac{1}{2} I_0. \quad (1.3)$$

1.2 Параметри блискавки

Для розрахунків перенапруг необхідно знати амплітуду струму блискавки, форму хвилі або крутизну струму блискавки і швидкість розвитку головноканальної стадії розряду блискавки. Дотепер є дуже велике (більше 10000) число вимірювань струмів блискавки. За результатами вимірювань побудовані криві ймовірності струмів блискавки: абсциса кривої указує ймовірність струму блискавки, рівної або більшої величини, що вказується ординатою (рисунки 1.7).

Середня крива ймовірностей струмів блискавки, що рекомендується в нашій країні при розрахунках грозостійкості, визначається за емпіричною формулою:

$$\mathcal{G}_i = e^{-\frac{I_0}{26.1}} = 10^{-\frac{I_0}{60}}, \quad (1.4)$$

$$\text{або } \lg \mathcal{G}_i = -\frac{I_0}{60},$$

або, якщо ймовірність визначати у відсотках,

$$\lg \mathcal{G}_i (\%) = 2\left(1 - \frac{I_0}{120}\right). \quad (1.5)$$

Криві можливостей побудовані для ударів у добре заземлені об'єкти.

Для оцінки можливих величин струму при ударі в погано заземлений або ізолюваний об'єкт, перед тим, як звертатися до кривої, струм треба перерахувати до умов удару в добре заземлений об'єкт:

$$I_0 = I_M \frac{z_0 + R_3}{z_0}.$$

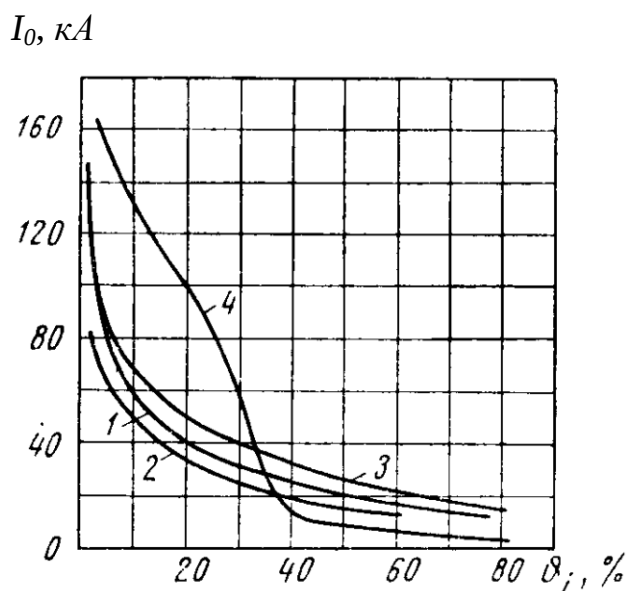


Рисунок 1.7 - Криві ймовірності амплітуд струмів:

1 – за рекомендацією керівних вказівок; 2 – американський стандарт; 3 – за даними розрядів в лінію; 4 – за даними розрядів в висотну будівлю

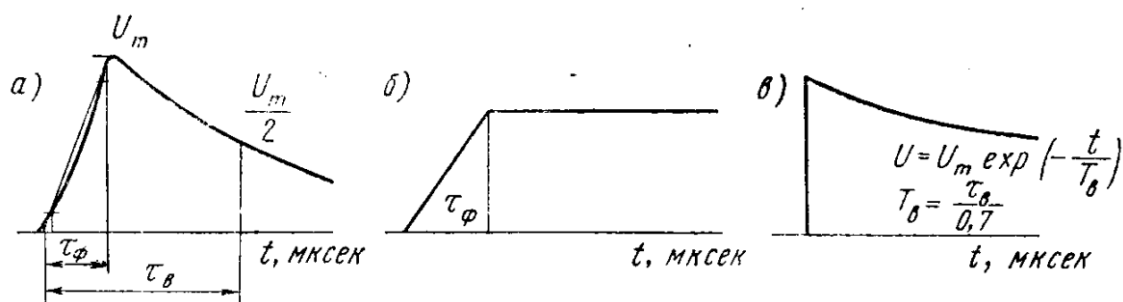


Рисунок 1.8 - Розрахункові хвилі струму блискавки:

а – аперіодична; б – косокутна; в – експоненціальна загасаюча

Емпірична формула (1.5) складена для струмів блискавки в рівнинних місцевостях. У гірських місцевостях криві можливих струмів блискавки помітно знижуються, причому це зниження вже істотне при висотах 1,8-2,4 км. Залежність струмів блискавки від висоти пояснюється, напевне, впливом рельєфу місцевості на

розвиток лідерної стадії. Цікаво відзначити, що значно знижуються струми і при ударі блискавки в дуже високі об'єкти (хмарочоси, телевізійні щогли, заводські димарі).

Форма кривої струму істотно впливає на результати розрахунків грозостійкості. Дійсні форми кривої струмів блискавки можуть бути різноманітними, що взагалі впливає з формули (1.1), тому що розподіл лінійної щільності зарядів у лідерному каналі тільки при найгрубішому наближенні може вважатися рівномірним, а швидкість v також змінюється при просуванні головного розряду до хмари. У загальному вигляді хвиля струму блискавки має форму аперіодичного імпульсу, причому довжина хвилі в середньому приблизно 40 мкс. При розрахунках для моментів на фронті хвилі або у всякому разі протягом часу багато меншому довжини хвилі, частіше усього використовують косокутну хвилю з обмеженою амплітудою (рисунок 1.8). Середня довжина фронту приблизно складає 2,5 мкс для великих амплітуд струму.

У розрахунках, коли цікавить час $t \gg \tau_\phi$ і наявність фронту практично не грає ролі, використовують експоненційну форму хвилі.

Найбільша крутизна струму блискавки становить 50 кА/мкс. Одночасні вимірювання амплітуд струмів блискавки і крутизни малочисельні. Проте непрямыми свідченнями встановлюється деяка тенденція збільшення крутизни зі збільшенням амплітуди.

У розрахунках індукованих перенапруг і електромагнітного поля каналу блискавки дуже істотна величина швидкості розвитку головного розряду. Вичерпних даних також немає. Проте є спроба одержати зв'язок між амплітудою струму і швидкістю головноканальної стадії. Великим амплітудам струмів відповідають і великі швидкості: при струмах 20 кА швидкість $v = 0,15$ с, при струмах у 200 кА швидкість $v = 0,5$ с.

Полярність грозових розрядів у більшості випадків негативна. Цікаво відзначити, що позитивні розряди вражають, в основному, ділянки з високою провідністю землі, наприклад, поклади залізної руди, вологі низинні місця, щільну мережу металевих підземних комунікацій, навіть якщо ці ділянки не знаходяться

безпосередньо під грозовою хмарою. І, навпаки, негативні розряди не обов'язково уражають об'єкти з кращою провідністю, наприклад, блискавковідводи, а можуть влучати в сусідні конструкції з гіршою провідністю й у цьому сенсі є більш небезпечними.

1.3 Атмосферні перенапруги. Електромагнітне поле каналу блискавки

Розряд блискавки супроводжується переміщенням у просторі дуже значних електричних зарядів (у середньому при ударі переноситься заряд порядку 5-10 Кл), він є джерелом сильного електромагнітного поля. У лідерної стадії процесу на об'єктах, розташованих поблизу грозової хмари, індукуються заряди знаку, протилежного знаку лідера, що опускається. При головному розряді напруженість електростатичного поля падає майже до нуля, індуковані заряди перестають утримуватися полем й обумовлюють перенапругу, що називається індукованою. Індуковані перенапруги виникають на проводах лінії електропередачі як при ударах блискавки в землю поблизу лінії, так і при ударах безпосередньо в опори або троси лінії.

При ударах безпосередньо в об'єкт струм головного розряду швидко зростає, нейтралізує індуковані заряди і, створюючи падіння напруги в опорі й індуктивності пристрою, що заземлює, заряджає об'єкт до дуже високої напруги того ж знаку, що і заряд хмари. Так виникають перенапруги прямого удару. При розрахунках грозостійкості ліній надвисокої напруги враховуються перенапруги і прямого удару і індукованого.

Методика розрахунку індукованих перенапруг використовує загальні рівняння електромагнітного поля.

Відповідно до цих рівнянь напруженість електричного поля

$$\bar{E} = -\text{grad}\varphi - \frac{\partial \bar{A}}{\partial t} = \bar{E}_{\text{э}} + \bar{E}_M. \quad (1.6)$$

Ця напруженість складається з двох складових: одна визначається зміною електричного поля в просторі і її називають електричною, інша обумовлена зміною магнітного поля і її називають магнітною складовою.

Скалярний і векторний потенціали, як відомо, визначаються інтегралами:

$$\varphi(x, y, z, t) = \frac{1}{4\pi\epsilon} \int_{(V)} \frac{q^*}{R} dV, \quad (1.7)$$

$$\bar{A}(x, y, z, t) = \frac{\mu}{4\pi} \int_{(V)} \frac{\bar{\delta}^*}{R} dV. \quad (1.8)$$

Інтегрування поширюється на весь об'єм, заповнений зарядами з об'ємною щільністю q і струмами провідності із щільністю $\bar{\delta}$. Оскільки процес розряду блискавки відбувається зі швидкостями, близькими до швидкості світла, обов'язково потрібно врахувати «запізнювання», тобто визначати «запізнілі» скалярний і векторний потенціали: при визначенні потенціалу в момент часу t розміри φ і $\bar{A}$ брати не для t , а для більш раннього часу $t - \frac{R}{c}$, де $\frac{R}{c}$ час проходження сигналу зі швидкістю світла від елементарного об'єму до точки спостереження.

Наближений розрахунок електромагнітного поля зробимо, вважаючи, що канал блискавки перпендикулярний до поверхні землі, а головний розряд розглядається у вигляді поширення догори з постійною швидкістю v прямокутної хвилі зарядів із незмінною щільністю σ , що, іншими словами, еквівалентно хвилі струму блискавки з амплітудою $I_M = \sigma v$ і прямокутним фронтом.

Оскільки поперечні розміри каналу малі в порівнянні з відстанню до точки спостереження, об'ємні інтеграли перетворюються в лінійні, що дуже полегшує визначення потенціалів φ і $\bar{A}$.

Векторний потенціал $\bar{A}$ збігається з напрямком струму. Оскільки канал розряду спрямований вертикально, то вектор магнітної складового поля також спрямований вертикально.

Електрична складова вектора напруженості поля, що є градієнтом скалярної величини, спрямована під деяким кутом до точки спостереження і буде мати всі просторові складові. Найбільш цікавою є вертикальна складова E_y , тому що потенціал щодо землі визначається саме складовими по осі E_y .

Якщо розраховується напруга на лінії при ударі блискавки десь поблизу, то цікавою є поздовжня складова E_x . Вона обумовлює перехідний процес у лінії, пов'язаний з поділом зарядів на зв'язані і вільні. Після завершення головного розряду блискавки вільні заряди розтікаються в обидві сторони по лінії й утворюють хвилі індукованих перенапруг.

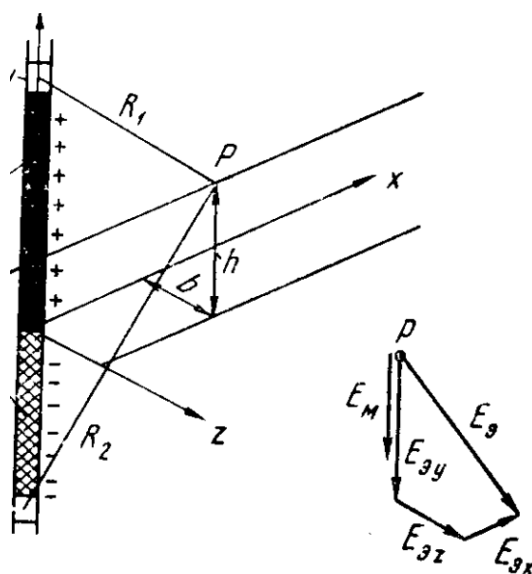


Рисунок 1.9 - До розрахунку електромагнітного поля блискавки

Скористаємося схемою (рисунок 1.9) на якій початок координат сполучено з точкою дотику блискавки з землею, вісь x розташована паралельно проводам лінії електропередачі, вісь y спрямована вертикально, а відстань b по осі z – найкоротша відстань від каналу блискавки до лінії. Відлік часу $t=0$ починається з початком головного розряду блискавки. Швидкість головного розряду визначимо через швидкість світла: $v = \beta c$. У момент часу t скалярний потенціал визначається не повною довжиною головного розряду, що розвився до цього моменту $y = vt$, а дещо меншою довжиною y_k , оскільки враховується "запізнення". Розмір y_k визначимо з

умови, що $y_k = v(t - \frac{R_k}{c})$, де $\frac{R_k}{c}$ – час проходження сигналу від кінця каналу y_k до точки спостереження.

Беремо інтеграл

$$\varphi = -\frac{\sigma}{4\pi\varepsilon} \left\{ \int_0^{y_{k1}} \frac{dy}{R_1} - \int_0^{y_{k2}} \frac{dy}{R_2} \right\} \quad (1.9)$$

і в результаті отримаємо

$$\varphi = \frac{\sigma}{4\pi\varepsilon} \left[\ln \frac{vt - h + \sqrt{(vt - h)^2 + (1 - \beta^2)(x^2 + b^2)}}{(1 + \beta)(-h + \sqrt{h^2 + x^2 + b^2})} - \ln \frac{vt + h + \sqrt{(vt + h)^2 + (1 - \beta^2)(x^2 + b^2)}}{(1 + \beta)(h + \sqrt{h^2 + x^2 + b^2})} \right]. \quad (1.10)$$

Напруженість поля, точніше вертикальна складова напруженості, на висоті $h=0$

$$E_{cy} = -\frac{\partial \varphi}{\partial h} \Big|_{h=0} = 60I_M \left[\frac{1}{\sqrt{(vt)^2 + (1 - \beta^2)(x^2 + b^2)}} - \frac{1}{\sqrt{x^2 + b^2}} \right]. \quad (1.11)$$

Векторний потенціал у точці $x, 0, b$

$$A = \frac{2\mu I_M}{4\pi} \int_0^{y_k} \frac{dy}{R} = \frac{2\mu I_M}{4\pi} \int_0^{v(t - \frac{R}{c})} \frac{dy}{\sqrt{b^2 + x^2 + y^2}} = \frac{2\mu I_M}{4\pi} \ln \frac{vt + \sqrt{(vt)^2 + (1 - \beta^2)(x^2 + b^2)}}{(1 + \beta)(\sqrt{x^2 + b^2})}. \quad (1.12)$$

Звідси магнітна складова напруженості поля на поверхні землі

$$\begin{aligned} \bar{E}_{m.y.} &= -\frac{\partial \bar{A}}{\partial t} = \frac{-60}{c} I_M \frac{(1 + \beta)(\sqrt{x^2 + b^2})}{vt + \sqrt{(vt)^2 + (1 - \beta^2)(x^2 + b^2)}} \cdot \left[v + \frac{2v^2 t}{2\sqrt{(vt)^2 + (1 - \beta^2)(x^2 + b^2)}} \right] \cdot \frac{1}{(1 + \beta)(\sqrt{x^2 + b^2})} = \\ &= -60I_M \frac{\beta}{\sqrt{(vt)^2 + (1 - \beta^2)(x^2 + b^2)}}. \end{aligned} \quad (1.13)$$

Записуючи формули (1.11)-(1.13) відмітимо, що

$$\begin{aligned} R_{1,2} &= \sqrt{(y \mp h)^2 + x^2 + b^2}, \\ y_k &= v \left(t - \frac{R_k}{c} \right) = vt - \beta \sqrt{(y \mp h)^2 + x^2 + b^2}, \\ (y_k - vt)^2 &= \beta^2 (y \mp h)^2 + \beta^2 (x^2 + b^2), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (1 - \beta^2)y_k^2 - 2y_k(vt \mu \beta^2 h) + [(vt)^2 - \beta^2 h^2 + \beta^2(x^2 + b^2)] &= 0, \\
 y_{k1,2} = \frac{1}{(1 - \beta^2)} \left\{ vt \mu \beta^2 h \pm \sqrt{(vt \mu \beta^2 h)^2 - (1 - \beta^2)[(vt)^2 - \beta^2 h^2 + \beta^2(x^2 + b^2)]} \right\} = \\
 = \frac{\beta}{1 - \beta^2} \left[\frac{vt}{\beta} \mu \beta h - \sqrt{(vt \mu h)^2 - (1 - \beta^2)(x^2 + b^2)} \right] & \quad (1.14)
 \end{aligned}$$

$$\sigma v = I_M \quad \text{і} \quad \frac{2\mu c}{4\pi} = \frac{2}{4\pi \varepsilon} = 60 \text{ Ом.}$$

За наведеними формулами побудовані графіки (рисунок 1.10). З них очевидно, що магнітна складова напруженості досить швидко загасає, у той час як електрична складова наближається до своєї межі, обумовленої другим членом рівняння (1.14). З тих же графіків видно, як змінюється напруженість поля каналу блискавки зі збільшенням відстані. Обидві складові зменшуються обернено пропорційно відстані, причому з ростом відстані питома вага магнітної складової підвищується. Цікаво, що поле навіть на відстані сотень кілометрів від місця удару зберігає досить значну інтенсивність і тому є джерелом радіоперешкод.

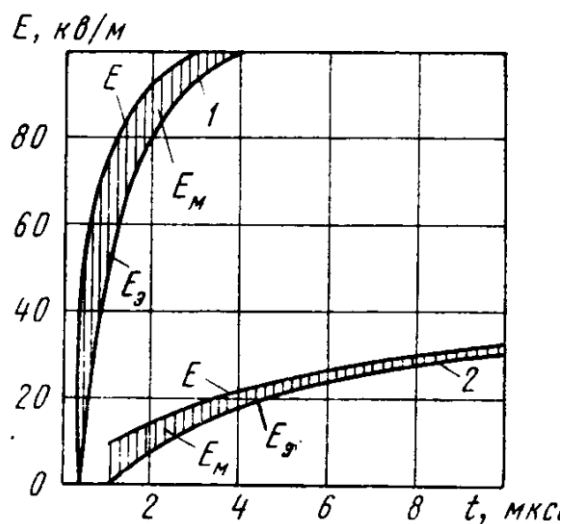


Рисунок 1.10 - Вимірювання магнітної і електричної вертикальних складових напруженості поля при розряді блискавки. Швидкість розвитку розряду $\beta = 0,5; 1,2$ — відстань до місця удару дорівнює 100 м; 3 — 300 м

2 ГРОЗОЗАХИСТ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

Проектування системи грозозахисту будівель і споруд повинне проводитися в строгій відповідності з категоріями будівель по влаштуванню грозозахисту, а також з урахуванням інтенсивності грозової діяльності в районі їх місцезнаходження [4]. Важливими початковими даними для розрахунку грозозахисту є також габарити об'єкту, що захищається, питомий електричний опір ґрунту, наявність в зоні об'єкту підземних комунікацій, інженерно-геологічні і метеорологічні умови, а також ряд інших даних, необхідних під час електричних і механічних розрахунків окремих конструктивних елементів грозозахистних пристроїв.

2.1 Класифікація будівель і споруд

Виробничі, житлові і суспільні будівлі і споруди залежно від конструктивних характеристик, призначення і значущості, степені вибухонебезпечних, технологічних особливостей, габаритів розділяються на ряд категорій[4].

До першої категорії відносяться будівлі, споруди, і приміщення класів В-1 і В-II (по ПУЕ)[5], в яких виділяються горючі гази, що володіють здатністю утворювати з повітрям або іншими окислювачами (наприклад, з хлором) вибухонебезпечні суміші при нормальних нетривалих режимах роботи, наприклад при завантаженні або розвантаженні технологічних апаратів, зберіганні або переливанні легкозаймистих (ЛЗР) і горючих рідин. Будівлі і споруди, що відносяться до першої категорії, підлягають обов'язковому грозозахисту на всій території України.

До другої категорії відносяться будівлі і споруди класів В-Ia, В-Iб і В-IIa (по ПУЕ), в яких вибухонебезпечні суміші горючої пари, газів, пилу або волокон з повітрям або іншими окислювачами не утворюються при нормальній експлуатації, а можливі тільки в результаті аварій або несправностей. Встановлення грозозахисту будівель і споруд другої категорії обов'язкове у разі розташування їх на територіях з середньою грозовою діяльністю.

Зовнішні технологічні установки і відкриті склади (наприклад, газгольдери, ємкості, зливно-наливні естакади), що відносяться до класу В-II і вибухонебезпечні гази, що містять, пари, горючі рідини і ЛЗР, підлягають грозозахисні на всій території України.

До третьої категорії відносяться будівлі або споруди, для яких прямий удар блискавки представляє небезпеку пожежі, механічних руйнувань, поразки людей. Це будівлі, споруди і приміщення класів II-I, II-IIa, II-II, II-IIIa (по ПУЕ). До приміщень класу II-I відносяться приміщення, в яких застосовуються або зберігаються горючі рідини з температурою спалаху пари вище 45 °С. До приміщень класу II-II відносяться приміщення, в яких виділяються горючий пил або волокна, перехідні в зважений стан. При цьому з'являється небезпека пожежі (а не вибуху). До приміщень класу II-IIa відносяться виробничі і складські приміщення, що містять тверді або волокнисті горючі речовини (дерево, тканини і ін.).

Приміщення класів II-I, II-I і II-IIa підлягають обов'язковому грозозахисту в районах з середньою грозовою діяльністю 20 і більш грозових годин в рік при очікуваному числі поразок блискавкою не менше 0,05 в рік (для будівель і споруд першого і другого ступеня вогнестійкості) і 0,01 в рік (для будівель і споруд третього, четвертого і п'ятого ступеня вогнестійкості). Останні будівлі і споруди, які відносяться по ступеню пожежної небезпеки до категорій Г і Д, а також відкриті склади твердих горючих речовин, відповідних до класів II і III (по ПУЕ), підлягають обов'язковому грозозахисту в районах з середньою грозовою діяльністю 20 і більше грозових годин в рік при очікуваному числі поразок блискавкою будівлі або споруди не менше 0,05 в рік.

До приміщень класу II-III відносяться:

- зовнішні склади, в яких застосовуються або зберігаються рідини з температурою спалаху пари вище 45 °С;
- вертикальні витяжні труби промислових підприємств і котельних, водонапірні і силосні башти, пожежні вежі заввишки 15-30 м;

- житлові і суспільні будівлі або їх частини, що вище рівня загального масиву забудови більш ніж на 25 м, а також будівлі, що окремо стоять, заввишки більше 30 м, віддалені від масиву забудови не менше ніж на 100 м;

- громадські будівлі третього, четвертого і п'ятого ступеня вогнестійкості (дитячі сади і ясла, учбові і спальні корпуси шкіл-інтернатів, спальні корпуси їдальні санаторіїв, установ відпочинку і піонерських таборів, спальні корпуси лікарень, клуби і кінотеатри), архітектурні і історичні пам'ятники.

Все це підлягає грозозахисту на території з середньою грозовою діяльністю 20 і більше грозових годин в рік.

Труби і башти заввишки більше 30 м, а також архітектурні і історичні пам'ятники підлягають грозозахисту на всій території України.

Будівлі, споруди, віднесені по влаштуванню грозозахисту до першої і другої категорій, повинні бути захищені від прямих ударів блискавки, від електричної і електромагнітної індукції і від занесення потенціалу через наземні і підземні металеві комунікації. Будівлі і споруди, віднесені до третьої категорії, повинні бути захищені від прямих ударів блискавки і від занесення високих потенціалів через наземні металеві комунікації.

Для будівель і споруд, що мають приміщення першої, другої або третьої категорії, рекомендується грозозахист всієї будівлі або споруди виконувати відповідно до вимог для першої категорії. Проте, якщо об'єм приміщень першої категорії складає в одноповерхових будівлях менше 30 % всього об'єму будівлі, а в багатоповерхових будівлях - менше 30 % об'єму приміщень верхнього поверху, грозозахисту всієї будівлі в цілому може бути виконана по другій категорії. При цьому всі підземні і наземні внутрішньо-цехові комунікації при введенні в приміщення першої категорії повинні бути приєднані до спеціального, протяжного заземлення, розташованого за межами цих приміщень і розтіканню струму промислової частоти, що має опір, не більше 10 Ом. Аналогічне правило діє для будівель і споруд, що мають приміщення другої і третьої категорії.

Приєднання підземних і наземних комунікацій до спеціального заземлювачу повинне виконуватися для приміщень другої категорії також у тому випадку, коли решта частини будівлі не підлягає грозозахисту.

За наявності на будівлях або спорудах першої і другої категорії, на установках або ємкостях класу В-Іг газовідвідних або дихальних труб для вільного відведення в атмосферу газів вибухонебезпечної концентрації простір над обрізом труб, обмежене півкулею радіусом 5 м, повинен входити в зону грозозахисту (незалежно від наявності вогнеогороджених). Для газовідвідних і дихальних труб, обладнаних ковпаками або «гусаками», при надмірному тиску усередині установки менше $2,5 \cdot 10^4$ Па. Ця зона може бути зменшена до 2,5 м по вертикалі і 5 м по горизонталі в обидві сторони від обріза труби (при газах важче за повітря і тиску менше $0,5 \cdot 10^4$ Па - до 1 м по вертикалі і 2 м по горизонталі). Включення в зону захисту простору над обрізом труб не обов'язкових при викиді з труб газів невибухонебезпечної концентрації, за наявності азотного дихання, а також для труб з факелами, що постійно горять, і факелами, підпалюються у момент викиду газів, для вентиляційних шахт, запобіжних і аварійних клапанів, викид газів вибухонебезпечної концентрації через яких здійснюється лише в окремих аварійних випадках.

Захист будівель від прямих ударів блискавки. Прямий удар є найбільш небезпечним зі всіх проявів блискавки з погляду поразки будівель і споруд. Багаторічні спостереження і дані свідчать про те, що пригнічує більшість пожеж і руйнувань при грозових розрядах викликано саме прямими ударами блискавки.

В даний час захист будівель і споруд від прямих ударів блискавки здійснюється за допомогою громовідводів різних модифікацій. Блискавки мають властивість в першу чергу вражати заземлення (у яких електропровідність прагне до нескінченності) і такі, що підносяться над поверхнею землі металеві предмети. Захисна дія громовідводу заснована саме на цій особливості грозового розряду.

Громовідвід - це пристрій, що підноситься над захистним об'єктом, сприймає прямий удар блискавки і відвідні струми блискавки в землю за допомогою визначної системи заземлення. Кожен громовідвід незалежно від типу складається з наступних

основних елементів (рисунок 2.1): громоприєднувача , що безпосередньо сприймає прямий удар блискавки; несучій конструкції 2, призначеного для установки громоприєднувача; струмовідводу 3, забезпечуючого відвід струму блискавки до заземлювача, і заземлювача 4, що відводить струм блискавки в землю і забезпечує контакт із землею грозоприймача і струмовідводу. На металевих або залізобетонних громовідводах може служити металева ферма або сталева арматура несучої конструкції.

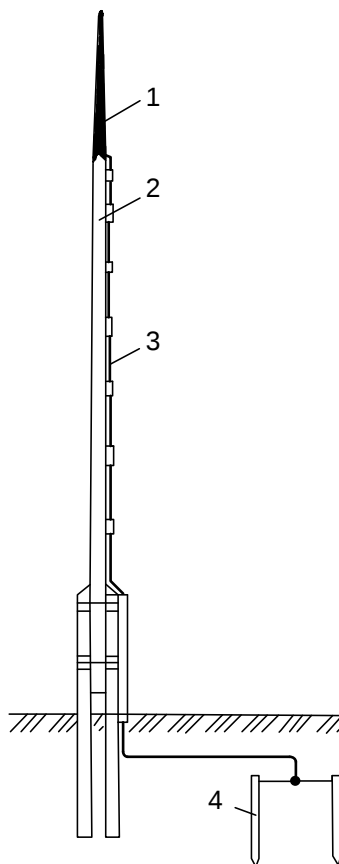


Рисунок 2.1 - Стрижньовий громовідвід, що окремо стоїть

У сучасній практиці грозозахисту використовуються наступні типи громовідводів: стрижньові (рисунок 2.1), тросові (рисунок 2.2, а), або антенні, і сітчасті (рисунок 2.2, б), встановлюваними безпосередньо на споруді, що захищається. Крім того, для комплексного захисту споруд у ряді випадків застосовуються комбіновані типи громовідводів (наприклад, тросово-стрижньові, рисунок 2.2, в).

Через простоту виготовлення і дешевизни найбільші розповсюдження отримали стрижньові громовідводи, забезпечуючи високу надійність в експлуатації. Тросові громовідводи, хоч і не поступаються стержньовим за своїми економічними показниками, проте є менш надійними і використовуються лише для захисту протяжних об'єктів. Сітчасті громовідводи, що володіють достатньо високим ступенем надійності, широко застосовуються при захисті споруд третьої категорії. У ряді випадків вони за своїми економічними показниками (невелика витрата металу, відсутність залізобетонних конструкцій, простота виготовлення, монтажу і експлуатації) перевершують стрижньові і тросові громовідводи і можуть бути використані також для захисту споруд першої і другої категорій, коли застосування стрижньових або тросових громовідводів по тих або інших причинах неприйнятно (наприклад, при значній висоті об'єкту, що захищається). Проте при цьому до сітчастого громовідводу пред'являються особливі вимоги (див. нижче).

Залежно від конструктивних особливостей і призначення об'єкту, що захищається, а також від місцевих умов стрижньові і тросові громовідводи можуть стояти окремо або встановлюватися на споруді, що захищається. По характеру взаємодії стрижньові і тросові громовідводи розділяються на однакові, подвійні і багатократні (коли встановлюється не менше трьох громовідводів, розташованих не на одній прямій). Залежно від вимог, що пред'являються до захисту того або іншого об'єкту, і технічних можливостей громовідводи, що встановлюються на споруді, можуть бути ізольованими або не ізольованими від конструкцій споруди, що захищається.

Тип вживаного громовідводу залежить від категорії будівлі і споруди.

Захист будівель і споруд першої категорії здійснюється, як правило, окремо стрижньовими, що стоять, або тросовими громовідводами, що забезпечують відповідну зону захисту. У тих випадках, коли установка громовідводів, що окремо стоять, неможлива або недоцільна (насиченість території підземними комунікаціями в розрахунковому місці установки

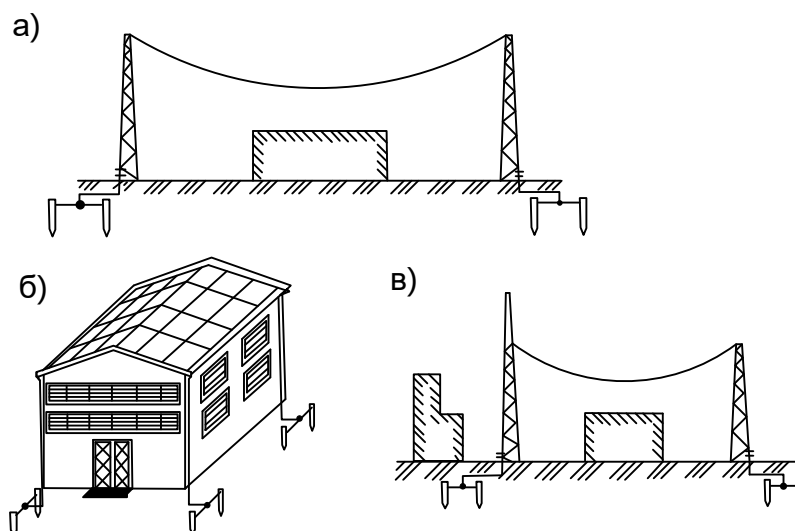


Рисунок 2.2 - Тросові и сітчасті громовідводи

громовідводу, значна висота об'єкту, що захищається), допускається установка ізольованих громовідводів безпосередньо на споруді, що захищається.

Щоб уникнути перекриття ізоляції по повітрю і в землі необхідно забезпечувати відповідні відстані між елементами громовідводу і споруд, що захищається.

При дуже великій висоті об'єктів (більше 30 м), що захищаються, з техніко-економічних міркувань допускається, як виняток, виконувати захист будівель і споруд неізольованим стрижньовим або тросовим громовідводами або використати як грозо приймача металеву крівлю будівлі. Якщо крівля неметалічна, для захисту використовується сітчастий громоприймач, що укладається безпосередньо на всю площу крівлі.

При використанні неізольованих громовідводів і сітчастих грозо приймачів для захисту подібних об'єктів обов'язкове виконання наступних умов:

- число струмопроводів від кожного грозо приймача стрижньового громовідводу або кожної стійки тросового громовідводу приймається рівним двом (або більш); струмовідводи розташовуються на відстані 15 м і більш один від одного або на протилежних сторонах будівлі, при цьому кожен струмовідвід приєднується до самостійного контура заземлення (з імпульсним опором розтіканню струму

блискавки не більше 5 Ом) або до замкнутого заземлюючого контура, укладеного по периметру будівлі:

- число струмопроводів, що сполучають грозо приймачу сітку або металеву кривлю із заземлювачами, визначається виходячи з відстані між струмовідводами не більше 25 м і обов'язкових прокладок по їхніх кутах будівлі, що захищається;

- грозо прийомна сітка виконується із сталевого дроту діаметром 6-8 мм з осередками, площею не більше 36 м², при цьому всі з'єднання повинні бути звареними, а сама сітка укладена на кривлю під шар утеплювача або гідроізоляції; що підносяться над основною кривлею конструктивні елементи будівлі повинні бути металеві сполучені з грозо приймальною сіткою або з металом даху, використовуюваного в якості грозо приймача; неметалічні елементи, що підносяться, обладналися самостійними грозо приймачами;

- в цілях вирівнювання потенціалів на різних рівнях споруди, що захищається, передбачається прокладка металевих поясів по периметру будівлі, що виготовляються, як правило, із смугової сталі перетином 4x40 мм, до яких приєднуються (приварюються) всі струмовідводи, металічні конструкції і устаткування; пояси прокладаються по кожному поверху, але не більше ніж через 9 м по висоті будівлі.

Захист будівель і споруд другої категорії незалежно від їх висоти здійснюється такими, що окремо стоять або встановленими на об'єкті, що захищається, і не ізольованими від нього стрижньовими або тросовими громовідводами, а також шляхом накладання грозо приймальної сітки на кривлю будівлі або використання як грозо приймача металеві кривлі. При цьому число і розташування струмовідводів, а також конструктивне виконання грозо приймальної сітки відповідає рекомендаціям, що відносяться до захисту будівель і споруд першої категорії.

Струмовідводи, в яких рекомендується по можливості використовувати вертикальні металеві конструкції об'єкту (пожежні сходи, колони, ферми і ін.), що захищається, приєднуються до заземлювача, що має імпульсний опір не більше 10 Ом. У ґрунтах з високим питомим опором (500 Ом і вище) заземлювач може мати імпульсний опір 40 Ом. Зовнішні залізобетонні і металеві ємкості (резервуари,

газгольдери і ін.), що містять вибухонебезпечні гази, пари, горючі рідини і ЛЗР, захищаються від прямих ударів блискавки громовідводами встановленими окремо або на ємкості, що захищається. Для металевих ємностей з товщиною металу кришки 4 мм і більш установка громовідводів необов'язкова, досить обмежитися надійним заземленням корпусу установки.

В тому випадку, якщо всі згадані вище ємкості розташовані на одному майданчику, а їх загальний об'єм складає більше 100 000 м, для захисту від прямих ударів блискавки необхідне застосування громовідводів, що окремо стоять, і додаткове заземлення металевих корпусів установок, що захищаються. Вказана вимога розповсюджується також і на всі зовнішні установки, що містять зріджені гази. Приєднання струмовідводів до заземлювачів виконується не більше ніж через кожних 25 м по периметру підстави ємкості (установки) при числі приєднань не менше двох. Імпульсний опір цих заземлювачів приймається не більше 50 Ом на кожний струмовідвід.

Захист будівель і споруд третьої категорії може бути виконаний будь-яким способом: за допомогою тих, що окремі стоять або встановлених на споруді стрижньових і тросових громовідводів, накладанням грозо приймачів сітки на крівлю, використанням металевої кривлі споруди, що захищається. Для об'єктів третьої категорії допускається збільшення площі осередків грозо приймальної сітки до 150 м² і імпульсного опору кожного заземлювача до 20 Ом. Для об'єктів тваринництва імпульсний опір повинен складати не більш 10 Ом (при питомому опорі ґрунту 500 Ом-м і вище - не більше 40 Ом); відстань від входу в будову до елементів грозозахисту повинна бути не менше 5 м. Захист окремих ємкостей, що містять горючі рідини, виконується громовідводами, встановленими окремо або безпосередньо на об'єкті, що захищається. При товщині металу даху ємкості 4 мм і більше допускається обмежитися надійним заземленням корпусу установки.

Захист неметалічних витяжних вертикальних труб, водонапірних башт і інших подібних об'єктів виконується громовідводами, встановленими на верхньому торці труб або на кривлі башти. При цьому для об'єктів заввишки 15-50 м достатня установка одного громовідводу (грозо приймач - струмовідвід-заземлювач). Для

об'єктів заввишки більше 50 м потрібна установка не менше двох грозо приймачів, сполучених електрично з двома зовнішніми струмовідводами і заземлювачами. Неметалічні труби заввишки 100 м і більш додатково, починаючи з верхнього торця, оснащуються по всій висоті (не рідше чим через 12 м) сталевими кільцями з площею перетину не менше 100 мм², сполученими зваркою з струмовідводами.

Металеві труби і башти захищаються шляхом приєднання їх до заземлювача з імпульсним опором не менше 50 Ом. Такий же імпульсний опір приймається для кожного заземлювача і у неметалічних труб, башт, веж.

Захист будівель від вторинних проявів струму блискавки. Удар блискавки в громовідвід або поблизу нього викликає, як наголошувалось вище, вторинні дії блискавки на об'єкт у вигляді електростатичної і електромагнітної індукції і у вигляді занесення високих потенціалів. Захисту від електростатичної і електромагнітної індукції підлягають будівлі і споруди першої і другої категорій, захист від занесення високих потенціалів передбачається на будівлях всіх категорій.

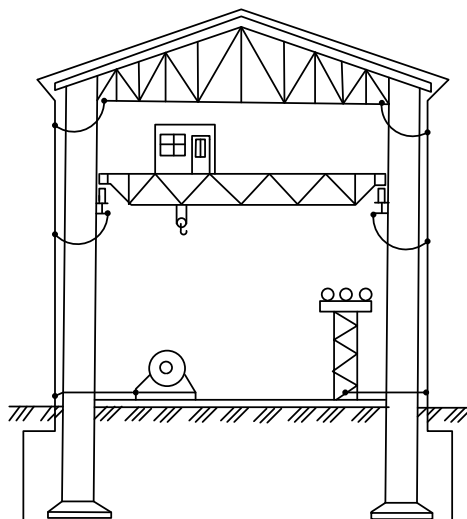


Рисунок 2.3 – Захист об'єкта першої категорії від електростатичної індукції

Захист від електростатичної і електромагнітної індукції. Об'єкти першої категорії. Для захисту від електростатичної індукції необхідне і достатнє створення так званої клітки Фарадея з приєднання до її заземлюючого контура устаткування, а також металевих елементів, конструкцій і комунікацій об'єкту. Екрануюча «клітка» практично створюється металевою кривлею об'єкта і

вертикальними струмовідводами, приєднаними до крівлі через кожних 15-20 м. Струм відведення приєднують або до спеціального заземлюючого пристрою з імпульсним опором до 10 Ом, або до захисного заземлення електроустановок об'єкта. На неметалічну кривлю накладається металева сітка із сталевго дроту діаметром 6- 8 мм з осередками не більше 12х12 м (рисунок. 2.3).

Відстань між заземлювачем захисту від прямих ударів блискавки і заземлювача захисного заземлення електроустановок і захисту від електростатичної електрики повинно визначатися по формулах. При виконанні захисту високих будівель і споруд від прямих ударів блискавки згідно рекомендаціям справжнього параграфу не вимагається додаткових пристроїв для захисту від електростатичної індукції.

Для захисту від електромагнітної індукції між трубопроводами і іншими протяжними металевими предметами (каркас споруди, оболонка кабелів і ін.) в місцях їх взаємного зближення на відстань 10 см і менше слідує приварити або припаяти металеві перемички через кожних 20 м довжини, для того, щоб не допустити утворення незамкнених контурів. У з'єднаннях елементів трубопроводів і інших протяжних металевих комунікацій, розташованих в споруді, що захищається, необхідно забезпечити контакт з перехідним електричним опором не більше 0,03 Ом на один контакт. При фланцевих з'єднаннях труб такий опір досягається нормальним затягуванням болтів при їх числі не менше шість на фланець. У місцях з'єднань, де контакт з вказаним перехідним опором не може бути забезпечений, необхідний пристрій перемичок із сталевго дроту діаметром не менше 5 мм або сталевго стрічки з площею перетину не менше 24 мм².

Об'єкти другої категорії. Захист від електричної індукції забезпечується приєднанням всього устаткування і апаратів, що знаходяться в будівлях, спорудах і установках, до захисного заземлення електроустаткування. Зовнішні установки класу В-Іг з корпусами із залізобетону або синтетичних матеріалів повинні бути захищені від електричної індукції шляхом накладання сталевго сітки на кришку ємкості і прокладки струмовідводів по її стінках - не більше ніж через 25 м по контуру. Струмовідводи повинні бути приєднані до заземлювача з імпульсним опором розтікання струму промислової частоти не більше 10 Ом. Елементи захисту

від електростатичної індукції можуть одночасно служити і цілям захисту від прямих ударів блискавки.

Захист від електромагнітної індукції виконується пристроєм через кожних 25-30 м металевих перемичок між трубопроводами і іншими протяжними металевими комунікаціями, розташованими один від одного на відстані 10 см і менш. Установки перемичок в місцях з'єднань (стиків, відгалуження) не вимагається.

Захист від занесення високих потенціалів. Об'єкти першої категорії. Для виключення занесення високих потенціалів громовідводів пристроями підземна частина громовідводів і їх заземлювачі повинні розташовуватися на певній відстані як від самого об'єкту, так і від підземних провідних комунікацій.

Для захисту від занесення високих потенціалів по підземних металевих комунікаціях (трубопроводи, кабелі, зокрема прокладені в каналах і тунелях, і ін.) необхідно при введенні в споруду приєднати їх до заземлювачів від електростатичної індукції або до захисного заземлення електроустановки (рисунок 2.4).

Для захисту від занесення високих потенціалів по наземним металічним комунікаціях (споруджуваним, як правило, на естакадах) необхідно заземляти їх таким чином:

- на введенні в об'єкт, що захищається, приєднувати до заземлювачів захисту від електростатичної індукції;
- на найближчих до об'єкту двох опорах естакади приєднують до заземлювачів з імпульсним опором не більше 10 Ом;
- уздовж траси естакади через кожних 250-300 м приєднувати до заземлювачів з імпульсним опором не більше 50 Ом.

Введення в будівлю електричних мереж напругою до 1000 В, мереж телефону, радіо, сигналізації виконуються кабельними підземними лініями, як правило, від центральних розподільних пунктів або, як виняток, підземною кабельною вставкою довжиною не менше 50 м. Броня або металева оболонка вказаних кабелів безпосередня: у місця введення у вибухонебезпечні приміщення повинна бути приєднана до захисного заземлення електроустановки. В місці переходу ПЛ в

кабельну вставку броня або металічна оболонка кабелю, а також штирі і крюки ізоляторів ПЛ повинні бути приєднані до заземлювача з імпульсним опором не більше 10 Ом. Крім того, в місці переходу між кожною жилою кабелю і заземленими елементами повинне бути влаштоване закрите повітря іскрових проміжків: з між електродною відстанню 2-3 мм або встановлений низьковольтний вентиляний розрядник. Штирі або крюки ізоляторів ПЛ на опорі, найближчій до місця переходу лінії в кабель, повинні бути приєднані до заземлювачів з імпульсним опором не більше 20 Ом.

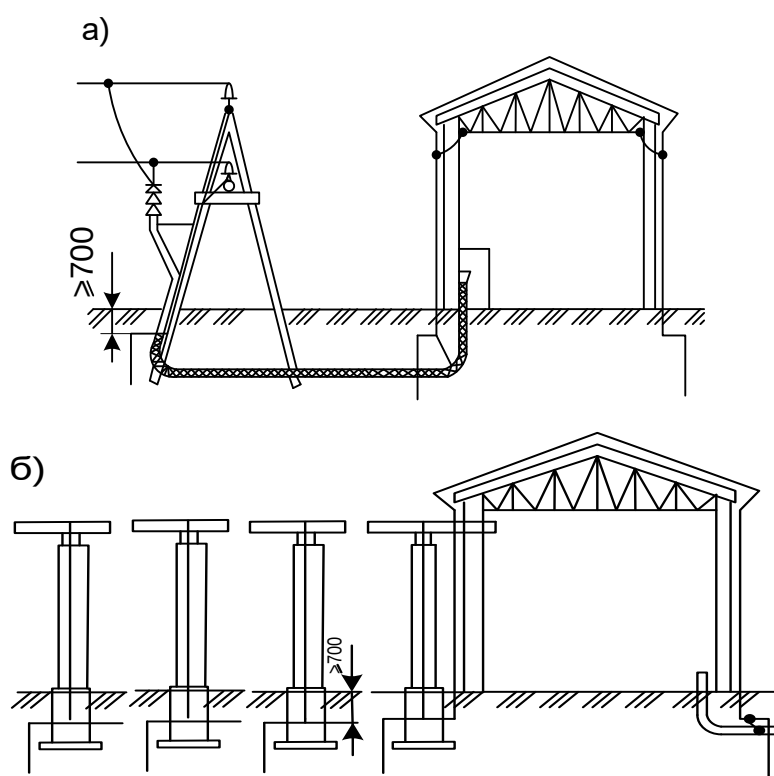


Рисунок 2.4 - Захист об'єкту першої категорії від занесення високих потенціалів по ЛЕП до 1000 В (а) і металевим комунікаціям (б)

Об'єкти другої категорії. Заходи щодо захисту об'єктів другої категорії практично співпадають з заходами по захисту об'єктів першої категорії. Відмінність полягає в тому, що підземні металеві комунікації при введенні в об'єкт можна приєднувати до будь-якого із заземлювачами об'єкту, а наземні металеві комунікації на введенні в об'єкт, що захищається, приєднуються до заземлювачів з імпульсним

опором не більше 10 Ом або до заземлюючого захисту від прямих ударів блискавки. На найближчій до об'єкту опорі естакади слід комунікації приєднувати до заземлювача з імпульсним опором не більше 10 Ом, а уздовж траси естакади через кожних 250-300 м - до заземлювачів з імпульсним опором не більше 50 Ом.

Об'єкти третьої категорії. Для захисту від занесення високих потенціалів через наземні зовнішні металеві конструкції і комунікації необхідно заземляти їх наступним чином:

- на введенні в будівлю, що захищається, або споруду приєднану до заземлювачів з імпульсним опором не більше 20 Ом; при цьому можна використовувати заземлюючий захист від прямих ударів блискавки;

- на найближчій до споруди опорі приєднувати до заземлювача з імпульсним опором не більше 20 Ом.

Захист від занесення високих потенціалів в будівлі, що захищаються, і споруди по повітряних лініях напругою до 1000 В повинна виконуватися відповідно до ПУЕ, а по лініях іншого призначення (зв'язок, сигналізація, радіо) - з керівними вказівками міністерств і відомств.

2.2 Захист підстанцій від прямих ударів блискавки

Аварійне відключення підстанції високої напруги приводить до великого народногосподарського збитку, оскільки від підстанції, як правило, відходить цілий ряд ліній, питаючих велике число споживачів. Аварія на підстанції приводить до тривалої перерви в електропостачанні цих споживачів. Положення може істотно ускладнитися за рахунок розвитку аварії на підстанції в системну аварію. Крім того, час, необхідний для ліквідації аварії на підстанції, особливо при пошкодженні внутрішньої ізоляції апаратів, може бути вельми значним. Тому до грозо захисту підстанцій пред'являються значно більш за жорсткі вимоги, ніж до грозо захисту ліній електропередачі і інших об'єктів, і, хоча підстанції мають невеликі розміри і удари блискавки, все одно необхідний вельми гарантований захист всієї території підстанції від прямих ударів блискавки.

Захист підстанцій від прямих ударів блискавки здійснюється стрижньовими і тросовими громовідводами.

З урахуванням кінцевих розмірів підстанції для її захисту зазвичай потрібна установка декількох громовідводів. Для розрахунку зони захисту цих громовідводів рекомендується застосовувати метод ВЕІ, оскільки він створює деякий запас у визначенні параметрів зон захисту, що необхідне для таких відповідальних об'єктів, як електричні підстанції.

При розробці системи грозо захисту для конкретних підстанцій слід користуватися рекомендаціями ПУЕ. Виділимо деякі з них.

Відкриті підстанції і ВРП напругою 20-500 кВ повинні бути захищені від прямих ударів блискавки. Виконання захисту від прямих ударів блискавки не потрібне: для підстанції напругою 20 і 35 кВ з трансформаторами одиничної потужності 1600 кВ·а і менш - незалежно від числа грозових годин в році; для всіх ВРП і підстанцій напругою 20 і 35 кВ в районах з числом грозових годин в році не більш 20; для ВРП і підстанцій напругою 220 кВ і нижче на майданчиках з питомим опором ґрунту в грозовий сезон більше 2000 Ом · м при числі грозових годин в році не більше 20.

Будівлі ЗРУ і закритих підстанцій слід захищати від прямих ударів блискавки в районах з числом грозових годин в році більше 20. Захист будівель ЗРУ і закритих підстанцій, що мають металеві покриття крівлі або залізобетонні несучі конструкції крівлі, слід виконувати заземлення цих покриттів (конструкцій). Для захисту будівель ЗРУ і закритих підстанцій, дах яких не має металічних покриттів або залізобетонних несучих конструкцій або не може бути заземлена, слід встановлювати стрижньові громовідводи або сітки грозо приймачів безпосередньо на даху будівель.

Розташовані на території підстанцій трансформаторна башта, будівлі маслохолодильника, електролізною, синхронні компенсатори, а також резервуари з паливними рідинами або газами і місця зберігання балонів водню повинні бути захищені від прямих ударів блискавки і вторинних її проявів відповідно до

«Вказівок по проектуванню і пристрою грозозахистів будівель і споруд» Держбуду України.

Захист від прямих ударів блискавки ВРП напругою 220 кВ і вище повинна бути виконана стрижньовими громовідводами, що встановлюються, як правило, на конструкціях ВРП. Слід використовувати також захисну дію високих об'єктів, які є грозо приймачами (опори ПЛ, прожекторні щогли, радіощогли і ін.). На конструкціях ВРП напругою 35-150 кВ стрижньові громовідводи можуть встановлюватися при питомому опорі ґрунту в грозовий сезон: до 500 Ом·м (35 кВ) і до 1000 Ом·м (ПО і 150 кВ) - незалежно від площі заземлюючого контура підстанції; від 500 до 750 Ом·м (35 кВ) і від 1000 до 2000 Ом·м (ПО і 150 кВ) - при площі заземлюючого контура підстанції 10 000 м² і більш.

Від стійок конструкції ВРП з громовідводами повинне бути забезпечене розтікання струму блискавки по магістралях заземлення не менше чим в трьох-чотирьох напрямках - для ВРП 35 кВ і не менше чим в двох-трьох - для ВРП ПО і 150 кВ. Крім того, повинно бути встановлено відповідно два-три або один-два вертикальних електроди завдовжки 3-5 м на відстані, не меншому довжині електроду, від стійки з громовідводом.

Гірлянди підвісної ізоляції на порталах ВРП 35 кВ з тросовими або стрижньовими громовідводами, а також на кінцевих опорах ПЛ 35 кВ в тому випадку, якщо трос ПЛ не заводиться на підстанцію, повинні мати на два ізолятори більше, ніж зазвичай. Відстань по повітрю від конструкцій ВРП, на яких встановлені громовідводи, до струмопровідних частин повинно бути не менше довжини гірлянди.

На трансформаторних порталах, порталах, що шунтують реактори і конструкціях ВРП, віддалених від трансформаторів або реакторів по магістралях заземлення на відстань менше 15 м, громовідводи можуть встановлюватися при питомому опорі ґрунту в грозовий сезон не більше 350 Ом·м і дотриманні наступних умов:

1. Безпосередньо на всіх виводах обмоток 3-35 кВ трансформаторів або на відстані не більше 5 м від них по ошунтовці, включаючи відгалуження до розрядників, повинні бути встановлені вентильні розрядники.

2. Повинне бути забезпечене розтікання струму блискавки від стійки конструкції з громовідводом по трьох-чотирьом магістралям заземлення.

3. На магістралях заземлення, на відстані 3-5 м від стійки з громовідводом, повинні бути встановлені два-три вертикальні електроди завдовжки 5 м.

4. На підстанціях з вищою напругою 20 і 35 кВ при встановленні громовідводу на трансформаторному порталі опору заземлюючого пристрою не повинно перевищувати 4 Ом без урахування заземлювача, розташованих поза контуром заземлення ВРП.

5. Заземлюючі провідники вентильних розрядників і трансформаторів рекомендується приєднувати до заземлюючого пристрою підстанції поблизу один від одного або виконують їх так, щоб місце приєднання вентильного розрядника до заземлюючого пристрою знаходилося між крапками приєднання заземлюючих провідників трансформатора і portalу з громовідводом.

Захист від прямих ударів блискавки ВРП, на конструкціях яких установка громовідводів не допускається або недоцільна по конструктивним міркуванням, слідує виконуватись громовідводами, що окремо стоять, мають відособлені заземлювачі з опором не більше 80 Ом.

Відстань S_3 між відособленим заземлювачем громовідводу і заземлюючим пристроєм ВРП (підстанції) визначається умовою:

$$S_3 \geq 0,2R_u$$

(але не менше 3 м), де R - імпульсний опір заземлення громовідводу, що окремо стоїть, при імпульсному струмі 60 кА.

Відстань по повітрю $S_{в1}$ від окремого громовідводу, що стоїть, з відособленим заземлювачем до струмоведучих частин заземлених конструкцій і устаткування ВРП (підстанції) знаходиться із співвідношення

$$S_{\text{г1}} \geq 0,12R_u + 0,1H$$

(але не менше 5 м), де H - висота даної точки громовідводу над рівнем землі, м.

Заземлювачі громовідводів, що окремо стоять, в ВРП, як правило, можуть бути приєднані до заземлюючого пристрою ВРП (підстанції). В цьому випадку відстань до повітря від громовідводу до струмоведучих частин повинна складатися (у метрах)

$$S_{\text{г2}} \geq 0,1H + m$$

де H - висота струмоведучих частин над рівнем землі, m - довжина гірлянди ізоляторів, м.

Захист ПЛ напругою 35 кВ і вище від прямих ударів блискавки на підходах до ВРП (підстанціям) повинна бути виконана тросовими громовідводами (табл. 11-1). Як правило, на кожній опорі підходу трос повинен бути приєднаний до заземлювачів опори.

У районах із слабкою інтенсивністю грозяної діяльності допускається збільшення (в порівнянні з приведеними в таблиці 2.1) опорів заземлюючих пристроїв ПЛ 35-220 кВ до підстанцій в 1,5 разу при числі грозових годин в році менше 20 і в 3 рази - при числі година менше 10. Якщо виконання заземлювачів з потрібними опорами заземлення виявляється неможливим, повинні бути застосовані заземлювачі-противаги.

У особливо голольодних районах і в районах з питомим опором ґрунту більше 1000 Ом·м допускається вивозання захисту підходів ПЛ до ВРП (підстанціям) окремо стоящими стрижньовими громовідводами, опір заземлювача яких не нормується.

Таблиця 2.1 - Захист ПЛ від прямих ударів блискавки на підходах з підвищеним захисним рівнем до РУ і підстанцій

Номінальна напруга ПЛ, кВ	Підходи ПЛ на порталних опорах			Підходи ПЛ на одно-стоячих опорах		
	Довжина, км	Число тросів, шт.	Захисний кут троса, ...°	Довжина, км	Число тросів, шт.	Захисний кут троса, ...°
35	1–2*	2	25–30	1–2	1–2	30
110	1–3	2	25–30	1–3	1–2	25**
150	2–3	2	25–30	2–3	1–2	25**
220	2–3	2	25	2–3	2	20**
330	2–4	2	25	2–4	2	20
500	3–4	2	25	—	—	—

* Для підстанцій з трансформаторами потужністю до 1600 Кв·А приймається довжина підходу 0,5 км.

** На одно-стоячі залізобетонних опорах допускається кут захисту до 30°.

Примітки: 1. Вибір довжини підходу, що захищається, проводиться з урахуванням відстаней між вентильним розрядником і устаткуванням, що захищається. 2. Найбільший допустимий опір що заземляє пристрій опор при питомому опорі ґрунту до 100, 100-500 і більше 500 Ом·м складає відповідно 10, 15 і 20 Ом; для ПЛ 110-300 кВ на одно-стоячих двох ланцюгових опорах - не більше 5, 10 і 15 Ом. Для ПЛ 110-500 кВ на порталних опорах, що встановлюються в ґрунті з питомим опором більше 1000 Ом·м, допускається опір заземлюючого пристрою від 20 до 30 Ом.

У районах, що мають не більше 60 грозових годин в році, допускається не виконувати захист тросом підходу ПЛ 35 кВ і до підстанції 35 кВ з двома трансформаторами потужністю до 1600 Кв·А кожен або з одним трансформатором

потужністю до 1600 Кв·А і резервним живленням навантаження із сторони нижчої напруги. При цьому опори підходу ПЛ до підстанцій на довжині не менше 0,5 км повинні мати заземлювачі з опором, вказаним в таблиці 2.1. При виконанні ПЛ на дерев'яних опорах, крім того, потрібний на підході ПЛ завдовжки 0,5 км. приєднувати кріплення ізоляторів заземлювача опор і встановлювати комплект трубчастих розрядників на першій опорі підходу з боку ПЛ. Відстань між вентильними розрядниками і трансформатором повинна бути не більше 10 м. За відсутності резервного живлення на підстанції з одним трансформатором потужністю до 1600 кВ·А підходи ПЛ 35 кВ до підстанції повинні бути захищені захисним тросом на довжині не менше 0,5 км.

Тросові громовідводи ПЛ напругою 110 кВ і вище, як правило, слід приєднувати до заземлених конструкцій ВРП (підстанції). Тросові громовідводи, захищаючи підходи ПЛ напругою 35 кВ, вирішується приєднувати до заземлених конструкцій ВРП при питомому опорі ґрунту в грозовий сезон до 750 Ом·м – незалежно від площі заземлюючого контура підстанції, 750- 1000 Ом·м – при площі заземлюючого контура підстанції 10 000 м² і більше. Тросові громовідводи на підходах ПЛ 35 кВ до тих ВРП, для яких не допускається установка або приєднання стрижньових громовідводів, повинні закінчуватись на найближчій до ВРП опорі. Перший від ВРП безтросовий проліт цих ПЛ повинен бути захищений стрижньовими громовідводами, що встановлюються на підстанції, опорах ПЛ або на окремих стійках.

Місце приєднання конструкції із стрижньовим або тросовим громовідводом до заземлюючого контура підстанції повинно бути розташовано на відстані не менше 15 м по магістралям заземлення від місця приєднання до нього трансформатора (реактора). Від стійок конструкцій ВРП ПО і 150 кВ, до яких приєднані громовідводи, повинні бути виконані магістралі заземлення в двох-трьох напрямках. Не допускається установка громовідводів на конструкціях ВРП, що знаходиться на відстані менше 15 м від відкритих шино проводів і від опор гнучких зв'язків, якщо до них приєднанні машини, що обертаються. Портالي трансформаторів, зв'язаних відкритими шино проводами або гнучкими зв'язками з обертаючими машинами,

повинні входити в зони захисту окремих громовідводів, що стоять або встановлені на інших конструкціях.

2.3 Захист підстанцій від атмосферних перенапруг

Лінії електропередачі можуть вражатися блискавкою десятки раз в рік. В результаті цих поразок в лінії виникають хвилі перенапружень, що розповсюджуються в обидві сторони від місця удару і що доходять до підстанцій, так звані атмосферні перенапруження. Розрядна напруга ізоляції ліній повинна бути вище за амплітуду цих хвиль.

При розповсюдженні по лініях хвилі перенапружень випробовують спотворення і загасання і проте вони представляють реальну небезпеку для підстанції. Це пояснюється тим, що рівень ізоляції підстанції по економічних міркуваннях завжди значно нижчий, ніж рівень лінійної ізоляції, і що напруга на ізоляції підстанції (за відсутності спеціального захисту) в результаті хвильових перехідних процесів може опинитися значно більше амплітуди хвилі, що приходить на підстанцію.

Якщо перекриття ізоляції на опорі ЛЕП веде, як правило, тільки до перекриття гірлянди ізоляторів, що усувається дією РЗ і АПВ, те перекриття ізоляції на підстанції може викликати серйозне пошкодження апаратів, відключення підстанції і тривалий простій дорогого устаткування. Пошкодження устаткування підстанції - пряма загроза нормальній роботі електричної системи. Це звичайна причина аварії в системі.

Тому разом із захистом від прямих ударів блискавки на підстанції необхідно мати спеціальний захист від хвиль перенапружень, що набігають з ліній. Такий захист може бути здійснений за допомогою вентильних і трубчастих розрядників. Останніми роками досягнутий певний прогрес в конструюванні і виробництві вентильних розрядників, включаючи надвисоку напругу 750 кВ. Що випускаються нашою промисловістю розрядники цілком дозволяють будувати надійні схеми захисту підстанцій від хвиль перенапружень. Завдяки хорошим захисним

характеристикам сучасних розрядників вдається скоординувати внутрішню і зовнішню ізоляцію трансформаторів і інших апаратів декілька пониженому, ніж раніше, запасі міцності ізоляції. Це дає істотний економічний ефект.

При заданих характеристиках ізоляції устаткування і розрядників проектування, схем грозозахисту підстанцій зводиться до обґрунтованого вибору довжини підходів, що захищаються, на лініях до підстанцій і визначення числа і місця установки вентильних розрядників в схемі підстанції, що може бути зроблене тільки в результаті детального аналізу хвильового процесу, що виникає на підстанції при набіганні з лінії хвилі атмосферного перенапруження.

Координація характеристик ізоляції апаратів і розрядників повинна проводитися для всіх можливих схем роботи підстанції (різне число приєднаних до шин ліній, зв'язана або роздільна робота секцій і систем! шин, вивід в ремонт секцій з приєднаними розрядниками і т. д.). Найвигідніша схема захисту може бути спроектована тільки при обліку всіх індивідуальних особливостей даної підстанції і при реальній оцінці можливих і найбільш вірогідних хвиль перенапружень, що приходять з ліній. Найбільш доцільне розташування вентильних розрядників на підстанціях з більш менш складною схемою можна визначити лише експериментально, на аналізаторах грозозахисту.

При розробці системи захисту підстанцій від хвиль перенапружень в першому наближенні можна користуватися наступними рекомендаціями ПУЕ.

Якщо ПЛ напругою 3-220 кВ по всій довжині або за винятком підходу побудована на дерев'яних опорах, на підході лінії встановлюється комплект трубчастих розрядників РТ1 (рисунок 2.5), що розташовується на ПЛ 3-20 кВ на відстані 200-300 м від підстанції, а на ПЛ 35-220 кВ - на першій опорі підходу, вважаючи з боку лінії. При потужності трансформатора підстанції до 630 кВ·А і напрузі 3-20 кВ трубчасті розрядники допускається не встановлювати. У ПЛ напругою 3-20 кВ з металевими і залізобетонними опорами ці опори впродовж 200-300 м підходу до підстанції повинні бути заземлені.

Опір заземлюючого пристрою опор з трубчастими розрядниками повинен бути не більше 10 Ом при питомому опорі ґрунту не вище 1000 Ом·м і не більше 15 Ом при вищому питомому опорі.

На ПЛ 3-20 кВ і 35-110 кВ із захистом тросом ;не по все, й довжині, які в грозовий сезон можуть бути тривало відключені з одного боку, слід встановлювати трубчасті розрядники (комплект РТ2 на рисунку 2.5) на входних порталах або на першій від підстанції опорі того кінця ПЛ, який

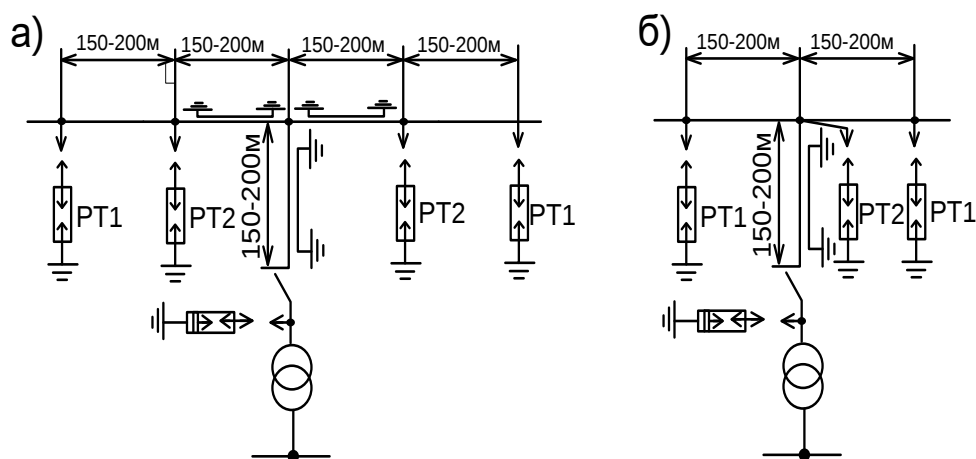


Рисунок 2.5 – Схеми захисту від атмосферних перенапруг підстанцій, приєднаних до ПЛ за допомогою відгалужень

може бути відключений. Відстань від розрядників РТ2 до відключеного апарату повинна бути не більше 60 м.

На ПЛ, що працюють на зниженій щодо класу ізоляції напрузі, на першій опорі захищеного підходу її до підстанції (вважаючи з боку лінії) повинні бути встановленні трубчасті розрядники класу напруги, відповідно робочій напрузі лінії.

У ПЛ з ізоляцією, посиленою по умові забруднення атмосфери, на першій опорі захищеного підходу повинен встановлюватись комплект трубчастих розрядників, відповідній робочій напрузі ПЛ.

Трубчасті розрядники повинні бути вибрані по струмах КЗ відповідно до наступних вимог:

1. Для мереж напругою до 35 кВ (з нейтраллю, ізолюваною або заземленою через дуго-затухаючу котушку) верхня межа струму, що відключається трубчастим розрядником, повинні бути не менш найбільшого можливого струму трифазного КЗ, а нижня межа - не більш найменшого можливого встановленого струму двофазного КЗ.

2. Для мереж напругою 110 кВ і вище з великим струмом КЗ на землю трубчастий розрядник слід вибирати по найбільшому можливному струму одно- або трифазного КЗ і по найменшому можливному сталому струму одно- або двофазного КЗ.

За відсутності трубчастих розрядників на необхідні класи напруги або струми КЗ допускається вводити захисні проміжки (таблиця 2.2) або (якщо ізоляція не забруднюється промисловими, солончаковими, морськими і іншими уносами) шунтувати частину ізоляторів в гірляндах на одной-двох суміжних опорах. Число ізоляторів в гірляндах, не шунтуючими, що залишилися, повинно відповідати робочій напрузі.

Таблиця 2.2 - Розміри захисних проміжків, що рекомендуються, мм

Номінальна напруга, кВ	Проміжок, мм		Номінальна напруга, кВ	Проміжок, мм	
	основний	додатковий		основний	додатковий
3	20	5	110	650	—
6	40	10	150	930	—
10	60	15	220	1350	—
20	140	20	330	1850	—
35	250	30	500	3000	—

На ПЛ 220 кВ з дерев'яними опорами і за відсутності трубчастих розрядників повинні бути заземлені на одній-двох опорах підвіски гірлянд, при цьому число ізоляторів повинне бути таким же, як для металевих опор. На ПЛ 3–35 кВ з дерев'яними опорами в заземлюючих спусках, захисних проміжків слід виконувати додаткові захисні проміжки на висоті не менше 2 м від землі.

РУ 3 кВ і вище, до яких приєднані ПЛ, повинні бути захищені вентильними розрядниками. Вентильні розрядники слід вибирати з урахуванням координації їх захисних характеристик з ізоляцією устаткування, що захищається, і відповідно напруги гасіння розрядників напрузі в місці їх установки при замиканні на землю однієї фази мережі. При збільшених відстанях між розрядниками і захищенні устаткуванням для скорочення числа розрядників можна застосовувати вентильні розрядники з характеристиками краще потрібних за умовами координації ізоляції. Число і місця установки вентильних розрядників слід вибирати виходячи з прийнятих на розрахунковий період схем електричних з'єднань, числа ПЛ і трансформаторів.

Найбільші допустимі відстані між вентильними розрядниками і устаткуванням, що захищається, визначаються виходячи з числа ліній і вентильних розрядників, включених в нормальному режимі роботи ВРП (підстанції). Відстань від устаткування, що захищається, до вентильних розрядників повинні бути в межах допустимих також в пусковий період і на проміжних етапах тривалістю, рівною грозовому сезону або більшою. Аварійні і ремонтні режими роботи при цьому не враховуються. Ці відстані по шинах, включаючи відгалуження, повинні бути не більш приведених в ПУЕ. При перевищенні вказаних відстаней повинні бути додатково встановлені розрядники на шинах. Вентильні розрядники повинні бути встановлені без комутаційних апаратів в ланцюзі між розрядником і трансформатором (автотрансформатором, шунтуючим реактором) для захисту обмоток всієї напруги силових трансформаторів з автотрансформаторним зв'язком, обмоток 330 і 500 кВ трансформаторів, обмоток 150 і 220 кВ трансформаторів з основним рівнем ізоляції по ГОСТ 1516-73, шунтуючих реакторів 500 кВ.

У разі приєднання трансформаторів до ВРП кабельними лініями напругою 110 кВ і вище на шинах встановлюється комплект вентильних розрядників (можливо ближче до місць приєднання кабелів). При одному кабелі заземлюючий затиск розрядника повинен бути приєднаний до металевих оболонок кабелю.

У ВРП 3-10 кВ при кабельному зв'язку трансформаторів з шинами відстані від вентильних розрядників до трансформаторів і апаратів, як правило, не

обмежуються. При повітряному зв'язку трансформаторів з шинами ВРП 3-10 кВ відстань від вентильних розрядників до трансформаторів і апаратів не повинні перевищувати 60 м при ПЛ на дерев'яних опорах і 90 м при ПЛ на металевих і залізобетонних опорах.

Невживані обмотки нижчої і середньої напруги силових трансформаторів (автотрансформаторів) повинні бути сполучені в зірку або трикутник і захищені вентильними розрядниками, включеними між введеннями кожної фази і землею. Захист невживаних обмоток нижчої напруги, розташованих першими від магнітопроводу, може бути виконана заземленням однієї з вершин трикутника, одній з фаз зірки або нейтралі або установкою вентильного розрядника відповідного класу напруги на кожній фазі. Захист невживаних обмоток не потрібний, якщо до них постійно приєднана кабельна лінія завдовжки не менше 30 м, що має заземлену оболонку або броню

Для захисту нейтралі обмоток 110-220 кВ силових трансформаторів, що мають ізоляцію, знижену відносно ізоляції лінійного кінця обмотки і допускаючи роботу з незаземленою нейтраллю. Слід встановлювати вентильні розрядники.

Шунтуючі реактори напругою 500 кВ повинні бути захищені від грозових і внутрішніх перенапружень грозовими або комбінованими розрядниками, встановленими на приєднаннях реактора.

Захист підстанцій 3-20 кВ з нижчою напругою до 1000 В, приєднаних до ПЛ 3-20 кВ, повинна виконуватися вентильними розрядниками, що встановлюються з високої і низької сторін підстанції.

При установці вентильного розрядника в одному осередку з трансформатором напруги розрядник рекомендується приєднати до запобіжника.

Кабельні вставки напругою 35-220 кВ при їх довжині менше 1.5 км. повинні бути захищені з обох боків трубчастими або вентильними розрядниками. Кабелі напругою 35-110 кВ захищаються вентильними розрядниками типу РВС (третя група по ГОСТ 16357-70), а кабелі напругою 220 кВ - вентильними розрядниками типу РВМГ (друга група по ГОСТ 16357-70). На ПЛ напругою 3-20 кВ у місці приєднання кабельної вставки до лінії повинен бути встановлений комплект

трубчастих розрядників (при довжині вставки до 50 м) або вентильних розрядників (при довжині більше 50 м). Якщо ПЛ виконана на дерев'яних опорах, на відстані 200-300 м від кінця кабелю слідує встановлювати другий комплект трубчастих розрядників.

Захист підстанцій 35-110 кВ з трансформаторами потужністю до 40000 кВ·А, що приєднуються до відгалужень (міцністю менш необхідної довжини підходу, що захищається, див. таблиця 2.2) від ПЛ, що діють, з дерев'яними, металічними або залізобетонними опорами без троса, допускається виконувати по спрощеній схемі (див. рисунок 2.5), що включає:

вентильні розрядники, що встановлюються на підстанції на відстані не більше 10 м від силового трансформатора;

тросові громовідводи підходу до підстанції по всій довжині відгалуження; при довжині відгалуження менше 150 м слідує додатково захищати тросовими або стрижньовими громовідводами по одному прольоту ПЛ, що діє, в обидві сторони від відгалуження;

комплекти трубчастих розрядників РТ1 і РТ2 з опором заземлення кожного розрядника не більше 10 Ом, встановлена на дерев'яних опорах: РТ2 - на першій опорі з тросом з боку ПЛ або на межі ділянки, захищеного стрижньовими громовідводами; РТ1 - на незахищеному проміжку ПЛ на відстані 150-200 м від РТ2; при довжині заходу не більше 500 м установка комплекту трубчастих розрядників РТ1 не потрібний.

Захист підстанцій, на яких відстані між вентильними розрядниками і трансформатором перевищують 10 м, виконується відповідно до вимог, в п 11-3

Спрощений захист підстанцій допускається виконувати і у разі приєднання підстанцій до ПЛ, що діють, з допомогою коротких заходів (рисунок 2.6). При цьому трансформатори повинні бути захищені вентильними розрядниками типу РВМГ (друга група по ГОСТ 16357-70). Виконання по спрощених схемах грозозахисту підстанцій, приєднаних до знов споруджуваним ПЛ, не допускається.

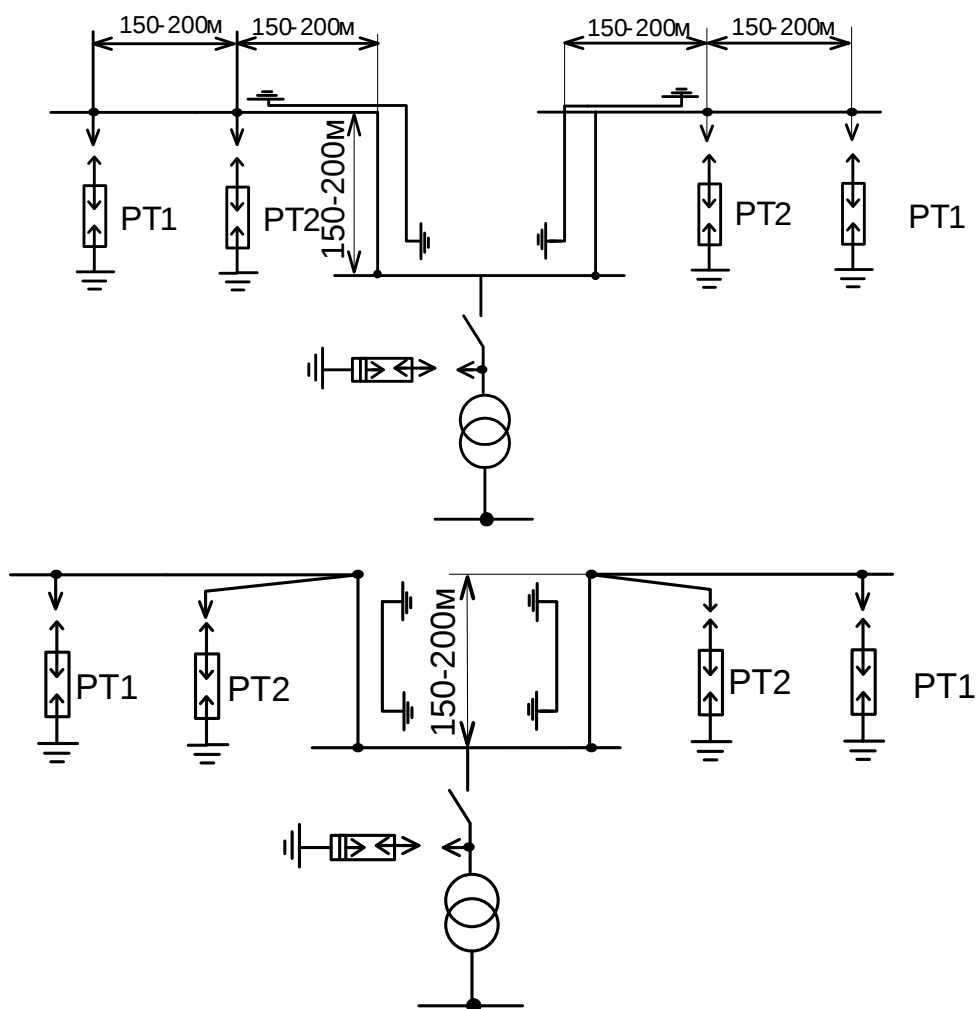


Рисунок 2.6 - Схеми захисту від грозових перенапружень підстанцій, приєднаних до ПЛ з допомогою заходів

У районах з питомим опором ґрунту $1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ і більш у трубчастих розрядників РТ1 і РТ2 напругою 35-110 кВт, що встановлюються для захисту тих підстанцій, які приєднуються до ПЛ, що діють, на відгалуженнях або за допомогою коротких заходів, опір заземлення може бути більше 10 Ом , але не більше 30 Ом ..

Спрощений захист підстанцій допускається виконувати і у разі приєднання підстанцій до ПЛ, що діють, з допомогою коротких заходів (рисунок 2.6). При цьому трансформатори повинні бути захищені вентильними розрядниками типу РВМГ (друга група по ГОСТ 16357-70). Виконання по спрощених схемах грозозахисту підстанцій, приєднаних до знов споруджуваних ПЛ, не допускається.

При установці РТ1 і РТ2 безпосередньо на відгалуженні для захисту лінійних роз'єднувачів на ПЛ повинні бути встановлені додаткові трубчасті розрядники. Основні і додаткові трубчасті розрядники слід встановити на загальній з опорі з боку живлення.

В даний час для захисту мереж 100-500 кВ від атмосферних перенапружень (а також і від внутрішніх) разом з розрядниками почали застосовуватися обмежувачі перенапруги нелінійні (ОПН), виконані у вигляді високо нелінійного резистора на основі оксиду цинку. Захисна дія обмежувачів заснована на тому, що при появі небезпечного для ізоляції перенапруження що протікає через обмежувальний імпульсний струм унаслідок високої нелінійності резисторів не створює небезпечного для ізоляції підвищення напруги.

В порівнянні з розрядниками типів РВМГ, що серійно випускаються, нелінійні обмежувачі знижують рівень обмеження комутаційних перенапружень на 30-40%, атмосферних перенапружень - на 10-20 %.

2.4 Грозозахист машин, що обертаються

Машини (генератори, синхронні компенсатори, двигуни, що обертаються, зазвичай не приєднуються безпосередньо до шин, до яких підходять повітряні лінії. Шини з приєднаними машинами, що обертаються, як правило, пов'язані з лініями передачі трансформаторами. Трансформатори разом з іншими апаратами підстанцій досить надійно захищаються від волі, що приходять з ліній, розрядниками підстанцій. Перехід хвиль через обмотки трансформаторів на шини генераторної напруги ємкісним і електромагнітним шляхом надзвичайно рідко може привести до перенапружень, небезпечних для ізоляції машин.

Проте в окремих випадках з різних причин не можна відмовитися від приєднання машин, що обертаються, до повітряних ліній. Тоді ізоляція машин, що обертаються, повинна захищатися від хвиль атмосферної перенапруги. Захист ускладнюється низькою в порівнянні з трансформаторами імпульсною міцністю ізоляції. Тому допустимі перенапруги між обмоткою і корпусом не повинні

перевищувати випробувальної напруги, прийнятої в експлуатації. Останні приймаються нижче заводських випробувальної напруги, оскільки враховується старіння ізоляції. В той же час вживані розрядники серії РВВМ знижують перенапруги тільки до рівня заводської випробувальної напруги. Характеристики розрядників нової серії РВМ з магнітним гасінням дуги супроводжуючого струму набагато краще, але і вони забезпечують зниження перенапружень до рівня випробувальної напруги при струмах, менших гарантованих.

Рівень імпульсної ізоляції ліній 6-10 кВ щодо землі складає приблизно 100 кВ для ліній на залізобетонних опорах і 150 кВ для ліній на дерев'яних опорах. Як і при захисті підстанції апаратури, найбільші труднощі виникають при захисті машин, що обертаються, безпосередньо пов'язаних з лініями на дерев'яних опорах. Щоб обмежити амплітуди хвиль перенапружень, здійснюється послідовний зріз хвилі перенапружень за допомогою іскрових проміжків і трубчастих розрядників. При цьому, якщо вдається правильно скоординувати вольтсекундні характеристики трубчастих розрядників і добитися узгодженого їх спрацювання, струм у вентильному розряднику, встановленому на шинах, буде невеликий і напруга, що залишається, опиниться менш небезпечною для ізоляції машини.

Міцність подовжньої ізоляції машин, що обертаються, дещо більше, ніж головною, і слід приймати заходи для обмеження перенапружень на віткової або між котушочної ізоляціях.

Таблиця 2.3 - Напруга вентильних розрядників, що залишається, для захисту машин, що обертаються, кВ

Номінальна Напруга, кВ	Гарантована імпульсна міцність, кВ	Струм, А		
		1500	3000	5000
3	10	10	11 (9,5)	12
6	21	19	21 (18)	22,5
10	32,5	32	35 (30)	37,5

Примітка. У дужках - напруга, що залишається, для розрядників серій РВВМ і РВМ.

У розрахунках перенапружень обмотку машини, що обертається, замінюють ділянкою лінії з деяким хвильовим опором, оскільки електромагнітний зв'язок між котушками обмотки дуже слабкий. Обмотка є як би дротом лінії, а зворотним «дротом» служить сталь статора. Усереднені хвильові опори обмотки залежать від конструкції машини і її номінальної напруги і потужності. Хвильові опори збільшуються, якщо знижується ємкість обмотки і росте її індуктивність, тобто хвильові опори тим більші, чим менша номінальна потужність машини і більша номінальна напруга. Із-за поверхневого ефекту в сталі імпульсний струм витісняється до поверхні газа, що веде до інтенсивного згладжування і загасання хвилі. Фронт хвилі сильно деформується, і початком хвилі вважають крапку, де вже починається підйом напруги.

При проектуванні конкретних пристроїв грозозахист машин, що обертаються, необхідно керуватися рекомендаціями ПУЕ.

ПЛ з металевими і залізобетонними опорами допускається приєднувати до генераторів і синхронних компенсаторів одиничною потужністю до 50 000 кВ·А.

ПЛ з дерев'яними опорами допускається приєднувати до генераторів і синхронних компенсаторів одиничною потужністю до 25 000 кВ·А.

Приєднання ПЛ до генераторів і синхронних компенсаторів потужністю більше 50 000 кВ·А допускається тільки за допомогою розділяючого трансформатора.

Для захисту генераторів і синхронних компенсаторів, а також електродвигунів потужністю до 3000 кВт, що приєднуються до ПЛ, повинні бути застосовані вентильні розрядники першої групи по ГОСТ 16357-70 і конденсатори ємкістю не менше 0,5 мкФ на фазу. Крім того, повинен бути виконаний захист підходу ПЛ до електростанції (підстанції) з рівнем грозо впертості не менше 50 кА. Вентильні розрядники слід встановити для захисту: генераторів (синхронних компенсаторів) потужністю більше 15 000 кВ·А - на приєднанні кожного генератора (синхронного компенсатора), 15 000 кВ·А і менш - на шинах (секціях шин) генераторної напруги; електродвигунів потужністю більше 300 кВт - на шинах ВРП.

При захисті генераторів (синхронних компенсаторів) з виведеною нейтралі, що не мають віткової ізоляції (машини із стрижньовою обмоткою потужністю 20 000 кВ·А і більш), замість конденсаторів 0,5 мкФ на фазу може бути застосований розрядник в нейтралі генератора (синхронного компенсатора) на номінальні напруги машини. Установка захисних конденсаторів не потребується, якщо сумарна ємність прикріплена до генераторів (синхронним компенсатором) ділянок кабелів завдовжки до 100 м складає 0,5 мкФ і більш на фазу.

В тому випадку, якщо машини, що обертаються, і ПЛ електростанції або підстанції приєднані до загальних шин, підходи повинні бути захищені від грозових дій тросами і трубчастими і вентильними розрядниками з дотриманням ряду вимог, приведених в ПУЕ (рисунок 2.7).

При використанні відкритих струмопроводів (відкриті шинні мости і з'єднання генераторів (синхронні підвісні гнучкі струмопроводи) для компенсаторів) з трансформаторами струмопроводи повинні входити в зони захисту громовідводів і споруд електростанцій (підстанцій). Місце приєднання громовідводів до заземлюючого пристрою електростанції (підстанції) повинне бути віддалене від місця приєднання до нього заземлених елементів струмопроводів не менше чим на 20 м по смузі заземлення.

Якщо відкриті струмопроводи не входять в зони захисту громовідводів ВРП, то вони повинні бути захищені від прямих ударів блискавки громовідводами, що окремо стоять, або тросами, підвішеними на окремих опорах із захисним кутом не більш 20°. Заземлення громовідводів, що окремо стоять, і тросових опор повинні виконуватися відособленням заземлювачів або шляхом приєднання до заземлюючого пристрою ВРП в крапках, які повинні бути віддалені від місць приєднання елементів струмопроводів, що заземляються, на відстань не менше 20 м.

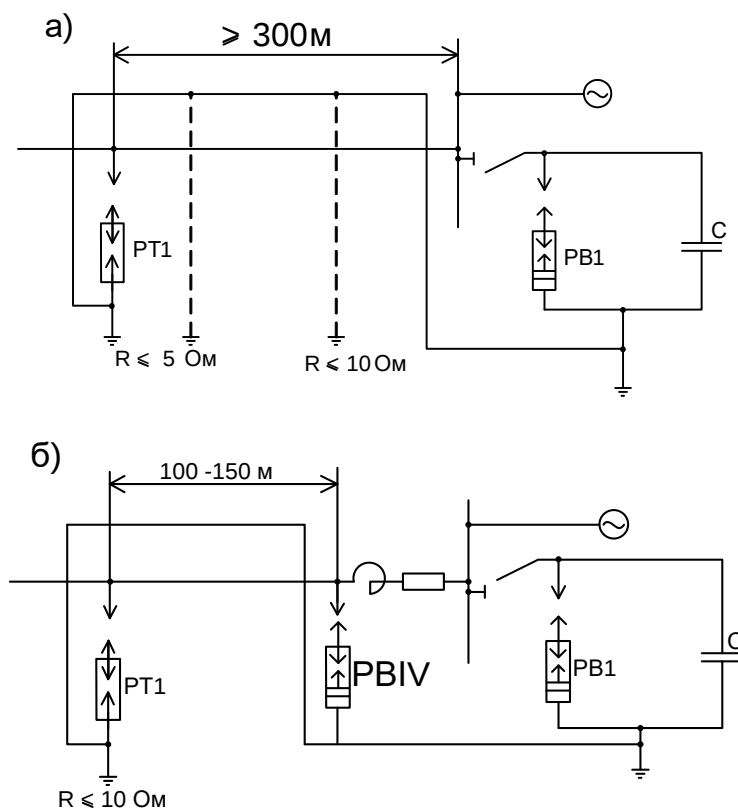


Рисунок 2.7 - Схеми захисту машин, що обертаються, від грозових перенапруг

I,IV - група розрядників по ГОСТ 16357-83

Відстань від громовідводів (тросових опор), що окремо стоять, до струмоведучих або заземлених елементів струмопровідних по повітрю повинна бути не менше 5 м. Відстань в землі між відособленим заземлювачем громовідводу і шинами заземлення струмопроводу також не повинно перевищувати 5 м.

Якщо підстанція промислового підприємства приєднана відкритими струмопроводами до ВРП генераторної напруги ТЕЦ, що має машини потужністю до 120 Мвт, то захист струмопроводів від прямих ударів блискавки повинен бути виконаний так само, як для струмопроводів, на вхідних в зони захисту громовідводів ВРП. У разі приєднання відкритого струмопроведення до ВРП генераторної напруги через реактор повинен бути встановлений перед реактором комплект вентильних, розрядників четвертої групи по ГОСТ 16357-83.

Для захисту генераторів від хвиль атмосферних перенапружень, що набігають по струмо-проводі, і від індукованих перенапружень повинні бути встановлені вентильні розрядники першої групи по ГОСТ 16357-83 в захисні конденсатори,

ємкості яких на три фази при номінальній напрузі генераторів повинні складати не менш: 0,8 мкФ при напрузі 6 кВ; 0,5 мкФ при 10 кВ; 0,4 мкФ при 13,8-20 кВ. Захисні конденсатори не потрібно встановлювати, якщо сумарна ємкість генераторів і кабельної мережі на шинах генераторної напруги рівна потрібній. При визначенні ємкості кабельної мережі в цьому випадку враховуються ділянки кабелів на довжині до 750 м.

Приєднання ВД до електродвигунів потужністю до 3000 кВт, що має надійне резервування, допускається за відсутності захисту підходів від прямих ударів блискавки. При цьому потрібно встановлювати на підході ПЛ два комплекти трубчастих розрядників на відстані 150 і 250 м від шин підстанції (рисунок 2.8,а). Опір заземлення розрядників повинен бути не більше 5 Ом.

На підході ПЛ із залізобетонними або металевими опорами трубчасті розрядники не потрібно встановлювати, якщо опір заземлення опор підходу ВЛ на довжині не менше 250 м складає не більше 10 Ом.

За наявності кабельної вставки будь-якої довжини безпосередньо перед кабелем повинен бути встановлений вентильний розрядник четвертої групи по ГОСТ 16357-83. Заземлюючий затиск розрядника повинен бути найкоротшим шляхом приєднаний до металевих оболонок кабеля і до заземлювача (рисунок 2.8,б).

У електродвигуна повинні бути встановлені вентильні розрядники: першої групи і захисні конденсатори ємкістю по 0,5 мкФ на фазу.

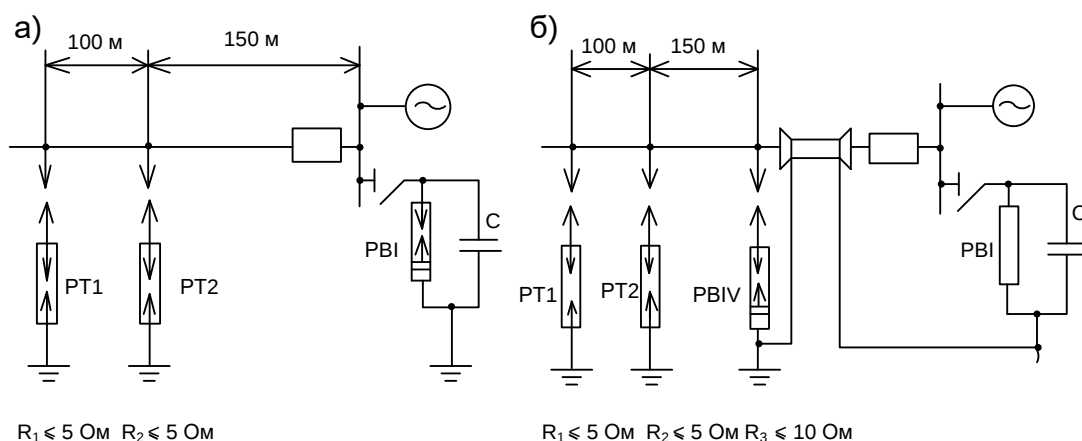


Рисунок 2.8 - Схеми захисту електродвигунів до 3000 кВт при підході ПЛ на дерев'яних опорах

3 РОЗРАХУНОК ЗАХИСТУ ВІД АТМОСФЕРНИХ ПЕРЕНАПРУГ

В якості прикладу розглянемо розрахунок захисту від атмосферних перенапруг електричної станції блочного типу з ВРП напругою 750 та 330 кВ. Відповідно до завдання на бакалаврську роботу також виконаємо розрахунок заземлення підстанції.

3.1 Розрахунок заземлення для ВРП високої напруги 330 КВ

Виконаємо розрахунок заземлювача по допустимому опору, враховуючи, що:

- товщина верхнього шару ґрунту h , становить: 2 м;
- питомий опір верхнього шару ґрунту ρ_1 , становить: 2000 Ом·м;
- питомий опір нижнього шару ґрунту ρ_2 , становить: 200 Ом·м;
- опір системи трос-опора, становить: $r_{т-о}=1,5$ Ом.

Приймаючи до уваги трьохрядне розташування вимикачів довжина розподільчого пристрою буде становити 152 м, а ширина 74 м. Таким чином площа розподільчого пристрою $S=152 \times 74=11248$ м².

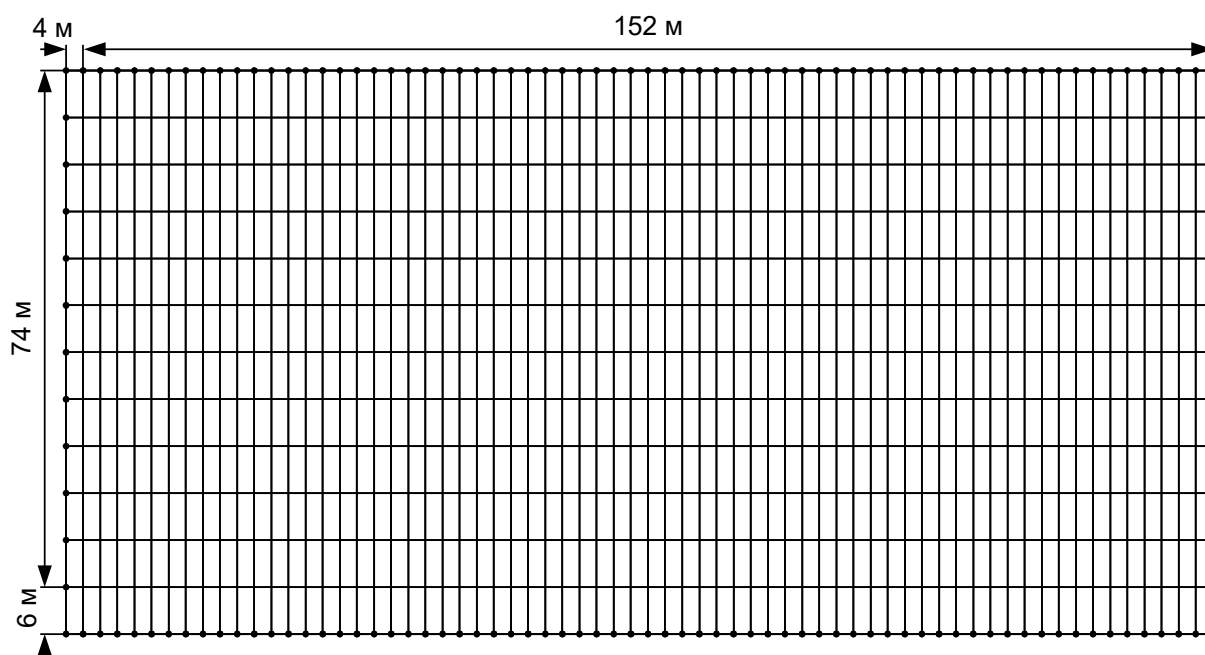


Рисунок 3.1 – Схема заземлюючого пристрою

Приймаємо шаг сітки заземлювача по ширині: 6 м, по довжині 3 м та виконаємо ескіз заземлювача (рисунок 3.1).

Приймаємо довжину вертикального заземлювача $l_B=8$ м, та виконаємо розрахунок:

$$\text{Кількість вертикальних заземлювачів: } n := 38 \cdot 2 + 25 \cdot 2 + 4 \quad n = 130$$

$$\text{Периметр РП: } P := (152 \cdot \text{м} + 74 \cdot \text{м}) \cdot 2$$

Середня відстань між вертикальними заземлювачами:

$$a := \frac{P}{n} \quad a = 3.477 \text{ м}$$

$$\text{Визначимо еквівалентний питомий опір враховуючи, що:} \quad \frac{\rho_1}{\rho_2} = 10$$

$$\Delta := 0.43 \cdot \left(\frac{h-t}{l_B} \right) + 0.27 \cdot \log \left(\frac{a}{l_B} \right) + 0.04 \quad \Delta = 0.018$$

$$\rho_{\text{екв}} := \rho_2 \cdot \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right)^\Delta \quad \rho_{\text{екв}} = 208.242 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Сумарна довжина горизонтальних заземлювачів складає:

$$l_T := 13 \cdot 268 \cdot \text{м} + 68 \cdot 132 \cdot \text{м} \quad l_T = 12460 \text{ м}$$

$$\frac{l_B+t}{\sqrt{S}} = 0.081 \quad A := 0.44 - 0.84 \cdot \frac{l_B+t}{\sqrt{S}} \quad A = 0.372$$

Визначимо опір заземлювача:

$$r_3 := A \cdot \frac{\rho_{\text{екв}}}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_{\text{екв}}}{l_T + n \cdot l_B} \quad r_3 = 0.746 \text{ Ом}$$

Визначимо опір еквівалентного заземлювача враховуючи наявність системи трос-опора:

$$r'_3 := \frac{r_3 \cdot r_{T_o}}{r_3 + r_{T_o}} \quad r'_3 = 0.498 \text{ Ом}$$

Отримане значення знаходиться в допустимих межах, тобто: $r'_3 < 0.5 \cdot \text{Ом}$

3.2 Розрахунок блискавкозахисту для ВРП високої напруги

Блискавкозахист виконується штирьовими блискавковідводами (БВ). Розрахунок зон захисту виконуємо графічним методом (рисунок 3.2.а, б).

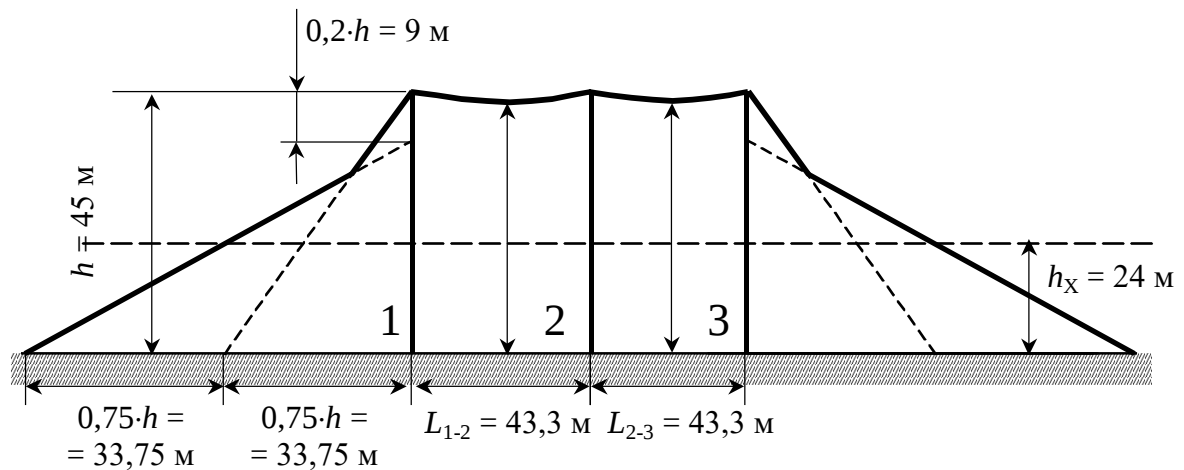


Рисунок 3.2.а – Зони захисту блискавковідводами, вид збоку

h_x – найвища точка обладнання, яке необхідно захистити; h – висота блискавковідводу; L – відстань між блискавковідводами.

h_x , h , L – беруться на підставі обраної схеми ВРП [5].

r_x – радіус зони захисту одного БВ, м:

$$\begin{cases} r_x = 1,5 \cdot (h - 1,25h_x), & \text{якщо } 0 \leq h_x \leq \frac{2}{3}h; \\ r_x = 0,75 \cdot (h - h_x), & \text{якщо } h > h_x > \frac{2}{3}h. \end{cases}$$

де h_0 – верхня границя зони захисту, м:

$$h_0 = 4 \cdot h - \sqrt{9 \cdot h^2 + 0,25 \cdot L^2}.$$

де b_x – ширина найвужчого місця зони захисту між двома БВ, м:

$$\begin{cases} b_x = 3 \cdot (h_0 - 1,25h_x), & \text{якщо } 0 \leq h_x \leq \frac{2}{3}h; \\ b_x = 1,5 \cdot (h_0 - h_x), & \text{якщо } h > h_x > \frac{2}{3}h. \end{cases}$$

де R – радіус дуги, що з'єднує вершини двох БВ і точку, розташовану на перпендикулярі, проведеному з середини відстані між БВ на висоті h_0 :

$$R = 4 \cdot h - h_0, [\text{м}].$$

Розрахуємо всі величини, необхідні для побудови зон захисту.

$$h_x := 24 \cdot \text{м} \quad h := 45 \cdot \text{м}$$

$$r_x := 1,5 \cdot (h - 1,25 \cdot h_x) \quad r_x = 22,5 \text{ м}$$

$$\underline{L} := \frac{72}{3} \cdot \text{м}$$

$$h_0 := 4 \cdot h - \sqrt{9 \cdot h^2 + 0,25 \cdot L^2} \quad h_0 = 44,468 \text{ м}$$

$$b_x := 3 \cdot (h_0 - 1,25 \cdot h_x) \quad b_x = 43,403 \text{ м}$$

$$\underline{R} := 4 \cdot h - h_0 \quad R = 135,532 \text{ м}$$

$$\underline{L} := \sqrt{\left(\frac{72}{3}\right)^2 + \left(\frac{130}{3}\right)^2} \cdot \text{м} \quad L = 49,536 \text{ м}$$

$$\underline{h_0} := 4 \cdot h - \sqrt{9 \cdot h^2 + 0,25 \cdot L^2} \quad h_0 = 42,747 \text{ м}$$

$$\underline{b_x} := 3 \cdot (h_0 - 1,25 \cdot h_x) \quad b_x = 38,24 \text{ м}$$

$$\underline{R} := 4 \cdot h - h_0 \quad R = 137,253 \text{ м}$$

$$\underline{L} := \frac{130}{3} \cdot \text{м} \quad L = 43,333 \text{ м}$$

$$\underline{h_0} := 4 \cdot h - \sqrt{9 \cdot h^2 + 0,25 \cdot L^2} \quad h_0 = 43,272 \text{ м}$$

$$\underline{b_x} := 3 \cdot (h_0 - 1,25 \cdot h_x) \quad b_x = 39,817 \text{ м}$$

$$\underline{R} := 4 \cdot h - h_0 \quad R = 136,728 \text{ м}$$

Намалюємо у масштабі отримані зони захисту (рисунок 3.2 а, б). Якщо є не перекриті зони, то збільшуємо висоту БВ.

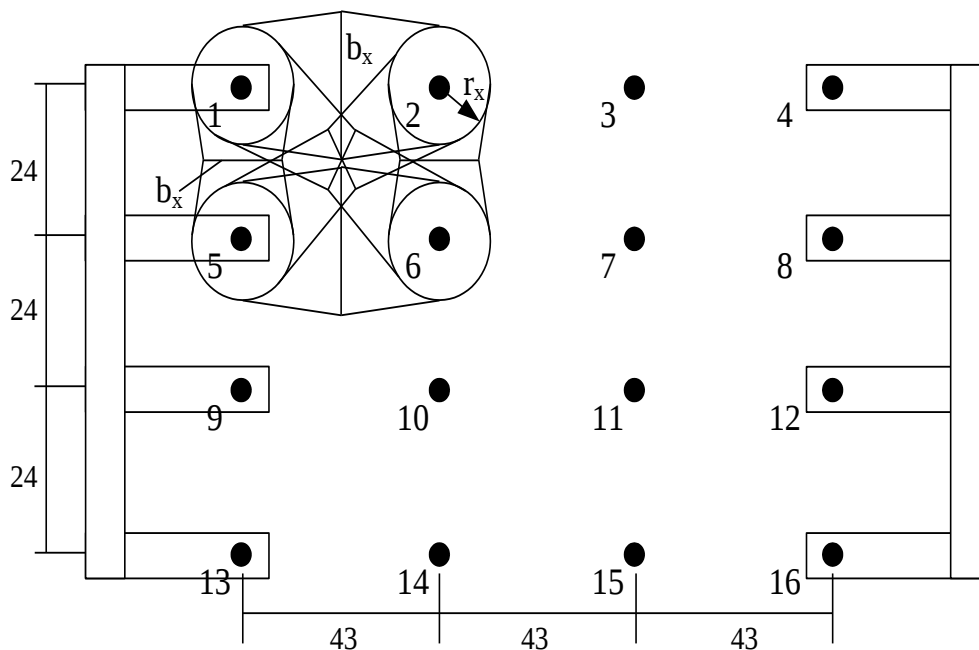


Рисунок 3.2.б – Зони захисту РП блискавковідводами, вид зверху

Всі зони перекриті, тому розрахований блискавкозахист зможе захистити усе обладнання на ВРП.

3.3 Розрахунок заземлення для ВРП 750 кВ

Виконаємо розрахунок заземлювача, параметри візьмемо аналогічно до п.3.1.

Приймаючи до уваги однорядне розташування вимикачів довжина розподільчого пристрою буде становити 319 м, а ширина 116 м. Таким чином площа розподільчого пристрою $S=319 \times 116=37004 \text{ м}^2$.

Приймаємо шаг сітки заземлювача по ширині: 4 м, по довжині 11 м та виконаємо ескіз заземлювача (рис 3.3):

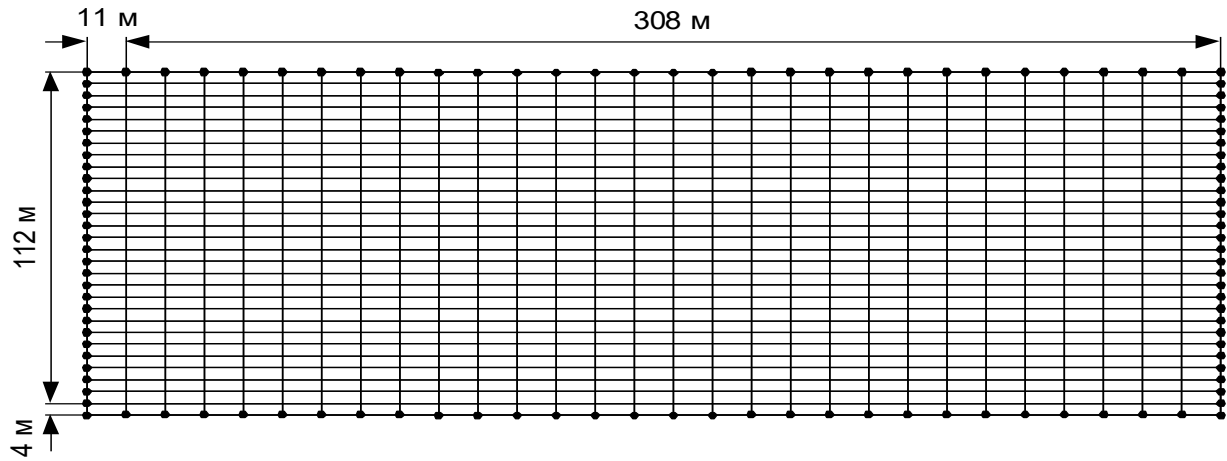


Рисунок 3.3 – Схема заземлюючого пристрою

Приймаємо довжину вертикального заземлювача $l_B=8$ м, та виконаємо розрахунок:

3.4 Розрахунок блискавкозахисту для ВРП високої напруги

Блискавкозахист виконується штирьовими блискавковідводами аналогічно до ВРП 330 кВ.

Розрахунок зон захисту виконуємо графічним методом (рис. 3.4.а, б).

h_x – найвища точка обладнання, яке необхідно захистити; h – висота блискавковідводу; L – відстань між блискавковідводами.

h_x , h , L – беруться на підставі обраної схеми ВРП [5].

r_x – радіус зони захисту одного БВ, м:

$$\begin{cases} r_x = 1,5 \cdot (h - 1,25h_x), & \text{якщо } 0 \leq h_x \leq \frac{2}{3}h; \\ r_x = 0,75 \cdot (h - h_x), & \text{якщо } h > h_x > \frac{2}{3}h. \end{cases}$$

h_0 – верхня границя зони захисту, м:

$$h_0 = 4 \cdot h - \sqrt{9 \cdot h^2 + 0,25 \cdot L^2}.$$

b_x – ширина найвужчого місця зони захисту між двома БВ, м:

$$\begin{cases} b_x = 3 \cdot (h_0 - 1,25h_x), & \text{якщо } 0 \leq h_x \leq \frac{2}{3}h; \\ b_x = 1,5 \cdot (h_0 - h_x), & \text{якщо } h > h_x > \frac{2}{3}h. \end{cases}$$

R – радіус дуги, що з’єднує вершини двох БВ і точку, розташовану на перпендикулярі, проведеному з середини відстані між БВ на висоті h_0 :

$$R = 4 \cdot h - h_0, [\text{м}].$$

Розрахуємо всі величини, необхідні для побудови зон захисту.

$h_x := 35 \cdot \text{м}$	$h := 55 \cdot \text{м}$	
$r_x := 1,5 \cdot (h - 1,25 \cdot h_x)$	$r_x = 16,875 \text{ м}$	
$L := \frac{116}{2} \cdot \text{м}$		
$h_0 := 4 \cdot h - \sqrt{9 \cdot h^2 + 0,25 \cdot L^2}$	$h_0 = 52,471 \text{ м}$	
$b_x := 3 \cdot (h_0 - 1,25 \cdot h_x)$	$b_x = 26,163 \text{ м}$	
$R := 4 \cdot h - h_0$	$R = 167,529 \text{ м}$	
$L := \sqrt{\left(\frac{116}{2}\right)^2 + \left(\frac{319}{6}\right)^2} \cdot \text{м}$	$L = 78,681 \text{ м}$	
$h_0 := 4 \cdot h - \sqrt{9 \cdot h^2 + 0,25 \cdot L^2}$	$h_0 = 50,375 \text{ м}$	
$b_x := 3 \cdot (h_0 - 1,25 \cdot h_x)$	$b_x = 19,875 \text{ м}$	
$R := 4 \cdot h - h_0$	$R = 169,625 \text{ м}$	
$L := \frac{319}{6} \cdot \text{м}$	$L = 53,167 \text{ м}$	
$h_0 := 4 \cdot h - \sqrt{9 \cdot h^2 + 0,25 \cdot L^2}$	$h_0 = 52,872 \text{ м}$	
$b_x := 3 \cdot (h_0 - 1,25 \cdot h_x)$	$b_x = 27,367 \text{ м}$	
$R := 4 \cdot h - h_0$	$R = 167,128 \text{ м}$	

Результати всіх інших розрахунків зведені в таблиці 3.1. Намалюємо у масштабі отримані зони захисту (рис. 3.4 а, б). Якщо є не перекриті зони, то збільшуємо висоту БВ.

Таблиця 3.1 – Параметри зон блискавкозахисту

$L, \text{ м}$	$h_0, \text{ м}$	$b_x, \text{ м}$	$r_x, \text{ м}$
$L_{1-2} = L_{2-3} = L_{4-5} = L_{5-6} = L_{7-8} = L_{8-9} = L_{10-11} = L_{11-12} = L_{13-14} = L_{14-15} = L_{16-17} = L_{17-18} = L_{19-20} = L_{20-21} = 58$	52,47	26,163	16,875
$L_{1-4} = L_{2-5} = L_{3-6} = L_{4-7} = L_{5-8} = L_{6-9} = L_{7-10} = L_{8-11} = L_{9-12} = L_{10-13} = L_{11-14} = L_{12-15} = L_{13-16} = L_{14-17} = L_{15-18} = L_{16-19} = L_{17-20} = L_{18-21} = 53,17$	52,872	27,367	16,875
$L_{1-5} = L_{4-2} = L_{2-6} = L_{3-5} = L_{4-8} = L_{5-7} = L_{5-9} = L_{6-8} = L_{7-11} = L_{8-10} = L_{8-12} = L_{9-11} = L_{10-14} = L_{11-13} = L_{11-15} = L_{14-12} = L_{13-17} = L_{14-16} = L_{14-18} = L_{15-17} = L_{16-20} = L_{19-17} = L_{21-17} = L_{18-20} = 78,68$	50,375	19,875	16,875

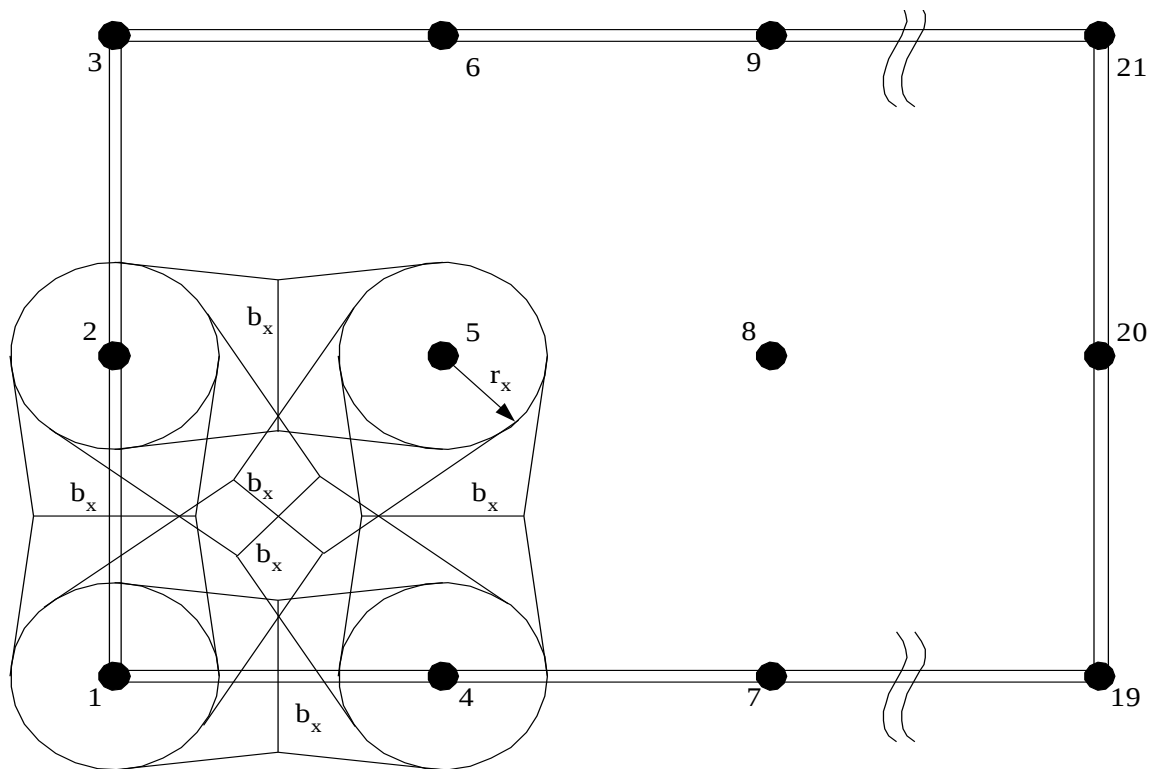


Рисунок 3.4.а – Зони захисту РП блискавковідводами, вид зверху

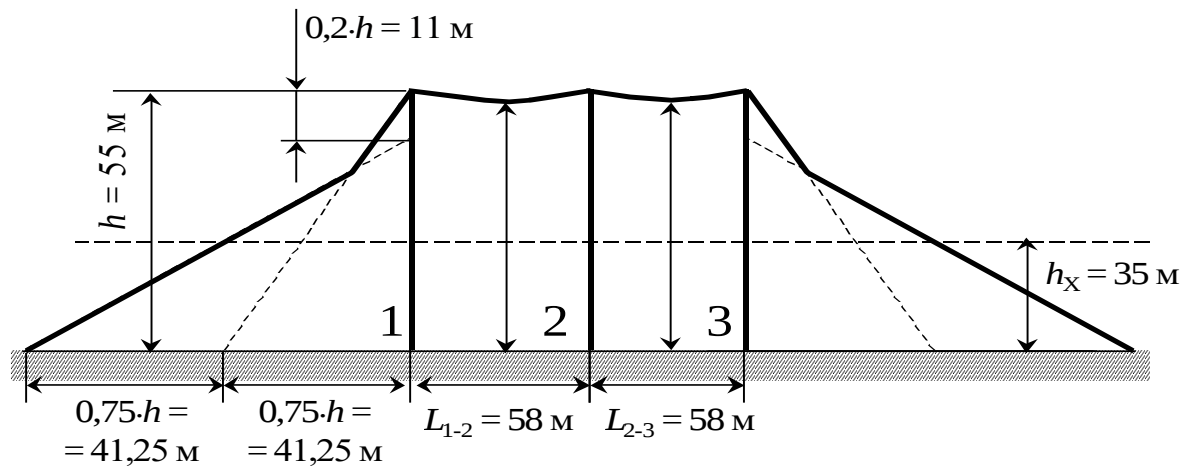


Рисунок 3.4.6 – Зони захисту блискавковідводами, вид збоку

Розрахований блискавкозахист зможе захистити усе обладнання на ВРП.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Розділ бакалаврської роботи присвячений дотримання вимог охорони праці під час монтажу та обслуговуванню повітряних ліній електропередач в електричних мережах. На оперативно-ремонтний персонал, що здійснює експлуатації системи електропостачання, впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [1, 2]:

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

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

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

4.1 Технічні рішення з безпечної організації будівельно-монтажних робіт

4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Експлуатація пристроїв компенсації реактивної потужності передбачає розробку та експлуатацію системи автоматичного управління ними. Для убезпечення робіт, що їх провадять в колах вимірювальних приладів і пристроїв релейного захисту, всі вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів струму і напруги слід постійно заземлювати. За необхідності розриву кола струму вимірювальних приладів і реле кола вторинної обмотки трансформатора струму попередньо закорочується на спеціально призначених для цього затискачах.

Розривати кола, підключені до вторинної обмотки трансформатора струму, забороняється. За необхідності розриву цих кіл вони мають бути попередньо замкнуті перемичкою, встановленою до передбачуваного місця розриву (рахуючи від трансформатора струму). Під час встановлення перемички слід застосовувати інструмент з ізолювальними рукоятками.

Під час роботи на трансформаторах струму або в колах, підключених до їх вторинних обмоток, слід виконувати такі заходи безпеки: зажими вторинних обмоток до закінчення монтажу кіл, що до них підключаються, мають бути замкнені накоротко. Після приєднання змонтованих кіл до трансформатора струму закоротку слід переносити на найближчу збірку затискачів і знімати тільки після повного закінчення монтажу та перевірки правильності приєднання змонтованих кіл; під час перевірки полярності до подавання імпульсів струму в первинну обмотку прилади слід приєднувати до затискачів вторинної обмотки. Забороняється використовувати шини первинних обмоток як струмопровідні під час монтажних та зварювальних робіт.

Робота в колах пристроїв релейного захисту, електроавтоматики і телемеханіки (РЗАіТ) проводиться за виконавчими схемами. Під час робіт в пристроях РЗАіТ слід користуватися слюсарно-монтажним інструментом з ізолювальними рукоятками.

Під час перевірки кіл вимірювання, сигналізації, керування і захисту за необхідності в приміщенні електроустановок напругою понад 1000 В дозволяється залишатися одному члену бригади за умовами роботи (наприклад, регулювання вимикачів, перевірка ізоляції); працівник, який перебуває окремо від керівника робіт, повинен мати групу III. Під час робіт в колах трансформаторів напруги з подачею напруги від стороннього джерела знімаються запобіжники з боку вищої і нижчої напруги, а також відключаються автомати від вторинних обмоток.

За необхідності проведення будь-яких робіт в колах чи на апаратурі РЗАіТ за умови ввімкненого основного обладнання слід вжити додаткових заходів щодо запобігання його випадковому відключенню. Забороняється на панелях або поблизу місця розміщення релейної апаратури провадити роботи, які викликають сильний струс релейної апаратури, що може спричинити до помилкових дій реле.

Перемикання, вмикання і вимикання вимикачів, роз'єднувачів та іншої комутаційної апаратури, пускання і зупинення агрегатів, регулювання режиму їх роботи, необхідні під час налагодження або перевірки пристроїв РЗАіТ, проводять тільки оперативні працівники.

Записувати покази електролічильників та інших вимірювальних приладів, встановлених на щитах керування і в РУ, дозволяється:

- одноособово працівникам з групою II за наявності місцевих оперативних працівників (з чергуванням двох осіб) і з групою III — без місцевих оперативних працівників;
- працівникам інших організацій з групою III у супроводі місцевого оперативного працівника.

Встановлення і зняття електролічильників та інших вимірювальних приладів, підключених до вимірювальних трансформаторів, повинні проводити за нарядом зі зняттям напруги два працівники, один з яких повинен мати групу IV, а другий — групу III. За наявності в колах електролічильників контактів (блоків), що дозволяють працювати без розмикання кіл, підключених до вторинних обмоток трансформатора струму, ці роботи можна виконувати за розпорядженням, не знімаючи напруги зі схеми електролічильника. За відсутності вказаних контактів напругу і струм в колах електролічильника слід відключити.

Приєднання вимірювальних приладів, встановлення і зняття електролічильників, підключених до вимірювальних трансформаторів, за наявності випробувальних блоків або спеціальних затискачів, що дають змогу безпечно закорочувати кола струму, виконуються без зняття навантаження і напруги. Встановлення і зняття електролічильників безпосереднього ввімкнення допускається проводити за розпорядженням одному працівнику з групою III. Встановлення і зняття електролічильників, а також приєднання вимірювальних приладів виконуються зі зняттям напруги.

Роботи з електролічильниками на різних приєднаннях, розміщених в одному приміщенні, можна виконувати за одним нарядом (розпорядженням). Оформлення в наряді переходу з одного робочого місця на інше не вимагається.

4.1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання підприємства та систем освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В), з'єднаної з силовим трансформатором. Категорія умов за небезпекою електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю на об'єктах, що будуються та реконструюються, струмопровідної підлоги.

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам: для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно:

- розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах; використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні – написи, таблички, попереджувальні знаки; підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

- при живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі. Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

- електрозахисні засоби захисту. Електротехнічний персонал повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Забороняється користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними

електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат приміщення – це сукупність фізичних параметрів повітря в виробничому приміщенні, які діють на людину в процесі праці на її робочому місці, в робочій зоні. Параметри мікроклімату характеризуються такими показниками: температурою повітря і відносною вологістю повітря, швидкістю його переміщення, потужністю теплових випромінювань. При цьому слід розрізняти оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови.

Допустимі мікрокліматичні умови – поєднання кількісних показників мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливові на людину можуть викликати скороминучі зміни, що швидко нормалізують тепловий стан організму, і які супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції, не виходячи за межі фізіологічних пристосувальних можливостей. При цьому виникає пошкодження або порушення стану здоров'я, але можуть спостерігатися дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття та зниження працездатності. Допустимі величини показників мікроклімату встановлюють тоді, коли за технологічними умовами, технічними і економічними причинами не забезпечуються оптимальні норми.

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт). Параметри мікроклімату в приміщенні наведено в таблиці 4.1.

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці оператора крану передбачається: в холодну пору року – використання калорифера; в літню пору – застосування кондиціонерів та вентиляторів обдуву, провітрювання приміщень.

Таблиця 4.1 – Нормування параметрів мікроклімату на непостійних робочих місцях

Період року	Категорія робіт	Температура, °C	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м/с
Теплий	Пб	15-29	70 при 25°C	0,2-0,5
Холодний	Пб	13-23	не більш 75	не більш 0,4

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 та шкідливі гази, їх ГДК наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимальн о разова	Середнь о добова	
Вуглецю оксид (CO)	3	1	4
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено: провітрювання

приміщень; встановлення пиловловлюючих засобів.

4.2.3 Виробниче освітлення

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормуємо освітлення на робочому місці працівника.

Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «в». Норми при штучному, природньому та суміщеному освітленні наведено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення виробничих приміщень

Харак-ка зорової роботи	Найменш ий або еквівалент-ний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природнє Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	в	малий середній великий	світлий середній темний	400	200	4	2,4

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 A70 "SG"](#). Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

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». Норми звукового тиску на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Рівень звукового тиску

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

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

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі (ширми, екрани тощо).

- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

4.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують «Правила пожежної безпеки в Україні» та інші правила пожежної безпеки для промислових підприємств і окремих об'єктів [11, 12]. Визначення пожежо- вибухонебезпечності речовин і матеріалів здійснюється за рекомендаціями [13], а, відповідно, категорії приміщень, будинків та зовнішніх установок, де вони використовуються, зберігаються тощо, за [14].

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

Будівлі, в якій розташовані ці приміщення, характеризується ІІ-ІV ступенем вогнестійкості. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2002 наведено в таблиці 4.5.

Межі вогнестійкості самонесучих стін, які враховуються в розрахунках жорсткості та стійкості будинку, приймають, як для несучих стін. Будівельні конструкції класифікують за вогнестійкістю та здатністю поширювати во-гонь. Показником вогнестійкості є межа вогнестійкості конструкції, що визначається часом (у хвиликах) від початку вогневого випробування за стандартним температурним режимом до настання одного з граничних станів конструкції:

- втрати несучої спроможності (R);
- втрати цілісності (E);
- втрати тепло та ізолювальної спроможності (I).

Таблиця 4.5 – 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 площі, сходи, балки, марші сходових кліток	перекрыття між поверхами (у т.ч. горіщі та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки)				плити, настли, прогни	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
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0, E 30, M1	E1 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормуються	
IV	REI 30 M1	REI 15 M1	E 15 M1	E1 15 M1	R 30 M1	R 15 M1	REI 15 M1	Не нормуються	

Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2002 наведено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

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

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-

побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за таблицею 4.7 (чисельник). В умовах забудови, що склалася, протипожежні відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд іншого призначення слід визначати згідно з протипожежними вимогами даних норм, наведеними у таблиці 4.7. Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських, сільськогосподарських будинків і споруд слід приймати за таблицею 4.7 (знаменник).

Таблиця 4.7 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
III	8/9	8/12	10/15
IIIa, IIIб, IV, IVa, V	10/12	10/15	15/18

На території підстанції на кожному з об'єктів потрібно встановити від 2 до 5 вогнегасників ВП-5, ВВП-5 або аналогічних ємністю 6 або 9 л.

ВИСНОВОК

У дипломній бакалаврській роботі було приділено увагу явищу атмосферних перенапруг та розряду блискавки. Проведено аналіз параметрів блискавки, приділено увагу шляхам розвитку атмосферних перенапруг, розглянуто розвиток розряду блискавки та електромагнітне поле каналу блискавки.

Відповідно до теми бакалаврської роботи в другому розділі розглянуто класифікацію будівель і споруд, способи захисту підстанцій від прямих ударів блискавки, захист підстанцій від атмосферних перенапруг та грозозахист машин, що обертаються.

На основі виконаного аналізу та видам захисту розраховано захист від атмосферних перенапруг для ВРП електричної станції, а саме виконано розрахунок заземлення для ВРП 330 кВ та 750 кВ і розрахунок блискавкозахисту для ВРП високої напруги.

Розрахований захист забезпечує перекриття всіх зон ВРП та надійний захист від атмосферних перенапруг.

Перелік літератури

1. Безпека в енергетиці - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://www.centrenergo.com/newsroom/news/item_39/
2. Бондаренко Є. А. Навчальний посібник до розділу «Охорона праці» в магістерських кваліфікаційних роботах для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка : навч. посібник / Бондаренко Є. А., Кутін В. М., Лежнюк П. Д. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 120 с.
3. Методичні вказівки до виконання розділу з охорони праці в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього ступеня бакалавра галузі знань 14 «Електрична інженерія» / уклад.: С. В. Дембіцька, І. М. Кобилянська, О. В. Кобилянський. – Вінниця: ВНТУ, 2022. – 65 с.
4. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво «Форт», 2017. - 760 с.
5. Притака І.П., Козирський. Електропостачання сільського господарства -К.: Вища школа 1995.
6. Методичні вказівки по розрахунку і підбору пристрою компенсації реактивної потужності. Фірми « СВ АЛЬТЕРА». 2008.
7. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98#Text>.
8. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів: НПАОП 40.1-1.21-98: Затв. 09.01.1998 № 4 /Держ. Комітет України по нагляду за охороною праці. Київ, 2008. 150 с.
- 9 Бондаренко Є. А., Кутін В. М., Лежнюк П. Д. Навчальний посібник до розділу «Охорона праці» в магістерських кваліфікаційних роботах для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Навчальний посібник. Вінниця, ВНТУ, 2018. 46 с. 70
10. Положення про кваліфікаційні роботи на першому (бакалаврському) рівні вищої освіти. СУЯ ВНТУ-03.02.02-П.001.01:21 / А. О. Семенов, Л. П. Громова, О. В.

11. Лежнюк П.Д., Собчук Н.В., Слободянюк О.В. Локальні електроенергетичні системи: Навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2017.141 с.

12. Хмельницький Є.Д., Крупник О.О. Електропостачання промислових підприємств(Частина 2): Навчальний посібник. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2016. 126 с.

13. Лежнюк П.Д., Комар В.О. Регулювання напруги в електричних системах. Навчальний посібник. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця,2008.171с.

14. Попов В.А., Ткаченко В.В., Ярмолук О.С. Ефективне керування режимами систем забезпечення споживачів електричною енергією: Навчальний посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021.163 с.

15. Хмельницький Є.Д., Крупник О.О. Електропостачання промислових підприємств(Частина 1): Навчальний посібник. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2016. 120 с.

16. Masiokas, S. Elektrotechnika. Kaunas: Candela. 1994. 431 p.

17. Weedy, B.M. Electric Power Systems Second Edition. John Wiley and Sons, London, 1972. 149 p.

18. Сінчук І. О., Бойко С. М. /; під ред. Сінчука О. М. Системи накопичення електричної енергії : підручник. Кривий Ріг : [б. в.], 2020. 218 с.

19. Офіційна web-сторінка фірми IEA. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.iea.org/analysis>.

20. Liudvinavičius, L. Compensation of Reactive Power of AC Catenary System. Procedia Engineering. 10th International Scientific Conference Transbaltica 2017: Transportation Science and Technology. 2017. P. 185-197.

21. Victor shikoana. Reactiv power compensation, system and voltage stability of an industrial network with short circuit limiting coupler.1998

ДОДАТОК А
ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ
ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Дослідження режимів роботи нейтралі електричних мереж

Тип роботи: Бакалаврська дипломна робота
(БДР, МКР)

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

Показники звіту подібності Unichек

Оригінальність 96,4 % Схожість 3,6 %

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

Вишневський С.Я.

(підпис)(прізвище, ініціали)

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

Автор роботи

С.Ю.Р.
(підпис)

Юревич С. Ю.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

О.О.А.
(підпис)

Адлер О. О.
(прізвище, ініціали)

Додаток Б

Ілюстративна частина

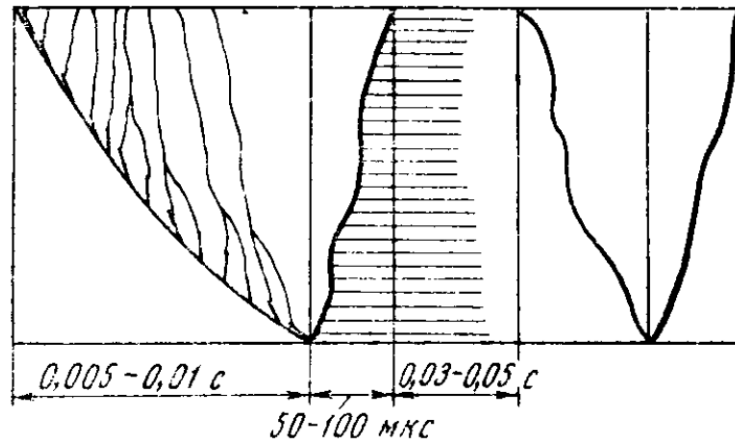


Рисунок 1.2 - Фоторозгортка розряду блискавки:

I – ступеневий лідер; II – головний розряд; III – стрілоподібний лідер; IV – другий головний розряд

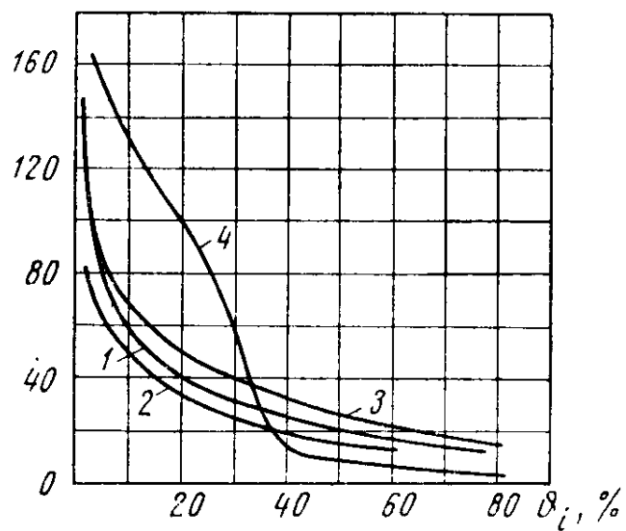


Рисунок 1.7 - Криві ймовірності амплітуд струмів:

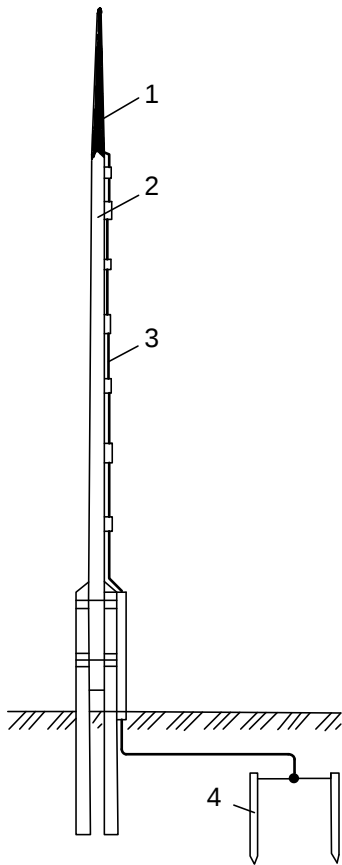


Рисунок 2.1 - Стрижньовий громовідвід, що окремо стоїть

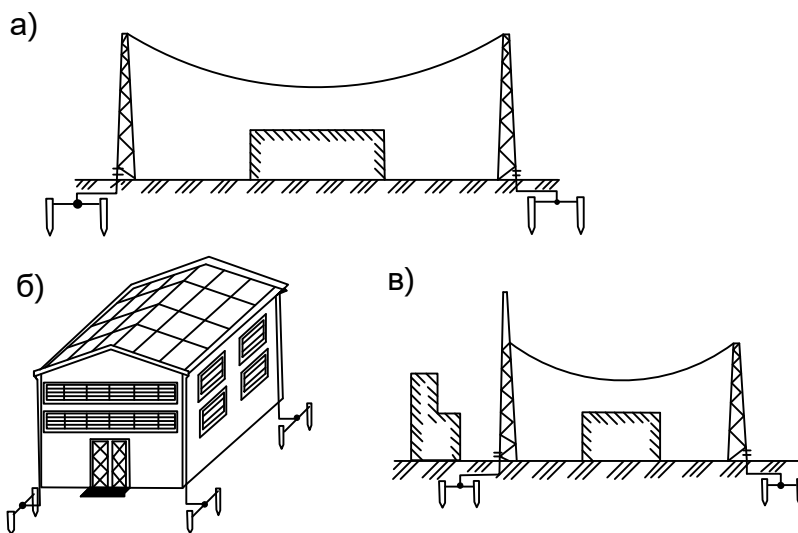


Рисунок 2.2 - Тросові и сітчасті громовідводи

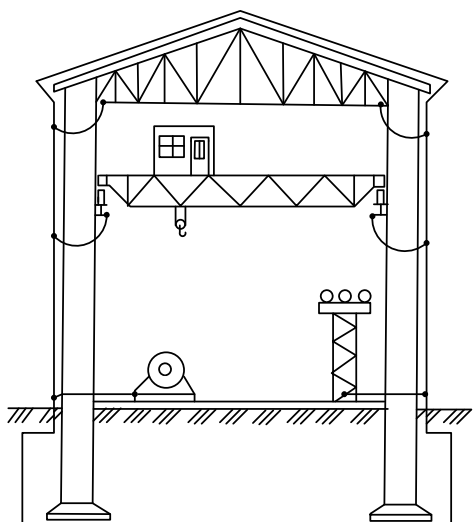


Рисунок 2.3 – Захист об'єкта першої категорії від електростатичної індукції