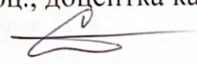


Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

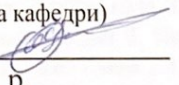
Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

**РОЗРОБКА ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЗАЗЕМЛЕННЯ
ДЛЯ ПІДСТАНЦІЙ 110/35/10 кВ**

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

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

« 04.06. » 2025 р.

Рецензент: доц. каф. ЕРЕЕН, к.т.н.
(наук. ступінь, вч. звання, назва кафедри)
О. Н. Кравченко 
« 09.06. » 2025 р.

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

« 06. » 06 2025 р.

Вінниця ВНТУ 2025 рік

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., професор Комар В. О.

«20» 03 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Мариничу Івану Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. «Розробка та вдосконалення системи заземлення для підстанцій 110/35/10 кВ»

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

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

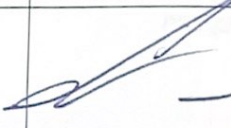
2. Термін подання студентом роботи 03 червня 2025 року

Вихідні дані до роботи: 1. Перхач В.С. Теоретична електротехніка: Лінійні кола /Підручник. - К.: Вища шк., 1992. - 439 с. 2. Правила улаштування електроустановок. Розділ 2. Передавання електроенергії. Глава 2.4 Повітряні лінії електропередавання напругою до 1 кВ. Глава 2.5 Повітряні лінії електропередавання напругою вище 1 кВ до 750 кВ. - К: ОЕП, ГРІФРЕ, 2006. – 190 с. 3. Букович Н.В. Розрахунок струмів короткого замикання електроенергетичних систем. - Львів: Вища шк., 1988. - 248 с. 4. Топольницький М.В. Атомні електричні станції: Підручник для ВУЗів. - Львів: Видавництво "Бескид Біт", 2005. - 524 с

3. Зміст текстової частини: Вступ 1. Дослідження заземлювальних пристроїв., 2. Методики розрахунку параметрів ЗП., 3. Приклади проектування заземлювальних пристроїв електричних станцій і підстанцій., 5. Охорона праці. ВИСНОВКИ. Список використаних джерел.

4. Перелік ілюстративного матеріалу(з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1.Недоліки існуючої системи заземлення. 2. Параметри ґрунту, розрахунковий струм. 3.Вибір типу заземлювачів.4. Нова конфігурація ЗП. 5. Схема заземлення. 6. Опір розтікання до/після

5. Консультанти розділів роботи

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

6. Дата видачі завдання 20 березня 2025

року КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

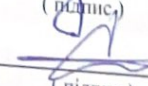
№ з/п	Назва та зміст етапів	Термін виконання етапів роботи		Пр. міт
		початок	кінець	
1	Формування та затвердження теми БКР	20.03.2025	21.03.2025	
2	Вступ. Огляд літературних джерел	22.03.2025	24.03.2025	
4	Дослідження заземлювальних пристроїв	01.04.2025	06.04.2025	
5	Методики розрахунку параметрів ЗП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

Студент


(підпис)

Маринич

Керівник роботи


(підпис)

Собчук Н.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.311

Маринич Іван Вікторович. «Розробка та вдосконалення системи заземлення для підстанцій 110/35/10 кВ». Бакалаврська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ. – 2025. – 63 с. Бібліогр.: 23. Рис. : 16. Табл. : 12.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі проведено аналіз і розроблено пропозиції щодо вдосконалення системи заземлення для електричних підстанцій напругою 110/35/10 кВ. Досліджено вплив типів заземлювачів та ґрунтових умов на опір заземлення. Виконано розрахунки та моделювання різних схем заземлювальних пристроїв із використанням сучасних нормативних документів і програмного забезпечення. Запропоновано практичні рекомендації щодо підвищення ефективності заземлення, зниження його опору та забезпечення необхідного рівня електробезпеки й надійності роботи електрообладнання підстанцій.

Результати досліджень можуть бути використані для проектування та реконструкції систем заземлення на електричних підстанціях відповідних класів напруги.

Ключові слова: заземлення, підстанція, опір заземлення, електробезпека, вертикальний заземлювач, горизонтальний заземлювач, питомий опір ґрунту, електричний пробій, імпульсний опір заземлення, моделювання заземлення, грозозахист.

ANNOTATION

Marynych Ivan Viktorovych. "Development and Improvement of the Grounding System for 110/35/10 kV Substations." Bachelor's Qualification Thesis. – Vinnytsia: VNTU. – 2025. – 63 p. Bibliography: 23 references. Figures: 16. Tables: 12.

This bachelor's qualification thesis provides an analysis and presents proposals for improving grounding systems for electrical substations rated at 110/35/10 kV. The study investigates the influence of grounding electrode types and soil conditions on grounding resistance. Calculations and simulations of various grounding system configurations are performed using current regulatory documents and specialized software. Practical recommendations are proposed to enhance grounding efficiency, reduce resistance, and ensure the required level of electrical safety and reliability of substation equipment.

The research results can be applied in the design and reconstruction of grounding systems at substations of corresponding voltage classes.

Keywords: grounding, substation, grounding resistance, electrical safety, vertical grounding electrode, horizontal grounding electrode, soil resistivity, electrical breakdown, impulse grounding resistance, grounding simulation, lightning protection.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ЗАЗЕМЛЕННЯ.....	9
1.1 Основні поняття та елементи заземлювальних пристроїв.....	9
1.2 Варіанти реалізації систем заземлення.....	13
1.3 Вплив зовнішніх умов на роботу заземлювальних систем.....	18
1.4 Аналіз геоелектричної будови ґрунтів та особливостей поширення блукаючих струмів.....	22
1.5 Ідентифікація природних заземлювальних елементів і металевих інженерних мереж у прилеглій до електроустановки зоні.....	25
1.6 Оцінювання корозійної дії ґрунту на заземлювальні елементи.....	26
2 МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ЗАЗЕМЛЕННЯ.....	28
2.1 Цілі та завдання проєктування і розрахунку.....	28
2.2 Ключові етапи розрахунку заземлювальних пристроїв.....	29
2.3 Розрахункові параметри електричних характеристик ґрунту.....	31
2.4 Розрахунок конструкції штучного та виносного заземлення.....	34
3 ПРОЄКТУВАННЯ ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ І ПІДСТАНЦІЙ.....	38
3.1 Загальні методи розрахунку параметрів заземлювальних пристроїв.....	38
3.2 Розрахунок параметрів заземлювального пристрою підстанції 35/10 кВ.....	39
3.3 Розрахунок пристроїв заземлення для електроустановок з ефективно заземленою нейтраллю.....	44
4 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМ ЗАЗЕМЛЕННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ТА ПІДСТАНЦІЙ.....	50
4.1. Послідовність розрахунку.....	57
4.2. Розрахунок штучного заземлювального пристрою для ПС- 110/35/10кВ.....	62
5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	65
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту.....	65

5.2. Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії.....	72
5.3. Пожежна безпека.....	74
ВИСНОВКИ.....	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	79
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Актуальність теми. Заземлювальні пристрої (ЗП) є важливою складовою електроустановок, що забезпечує належний рівень електробезпеки як у зоні обслуговування обладнання, так і за її межами. Ці пристрої використовуються для відведення в землю імпульсних струмів від блискавковідводів і розрядників, створення надійного контуру для роботи систем захисту при замиканні на землю, а також для стабілізації потенціалів фаз електричних мереж відносно землі [1].

Особливо суворі вимоги до заземлювальних пристроїв висуваються в контексті безпеки, оскільки потенціальні різниці напруг, небезпечні для ізоляції електрообладнання, завжди суттєво перевищують номінальні значення.

Як правило, для електроустановок різних типів та класів напруг використовують спільні заземлювальні пристрої. Заземленню підлягають металеві корпуси електродвигунів, трансформаторів, приводи електричних апаратів, металеві каркаси щитів розподілу, панелей керування, шаф, а також вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів [2-5].

Опір заземлювальних пристроїв, які використовуються для різних електроустановок, відповідає найсуворішим вимогам обладнання, для якого визначено мінімально допустимий опір ЗП.

Для оцінки ефективності та стану заземлювального пристрою застосовують різноманітні технічні методики і засоби контролю. До останнього часу якість конструктивного виконання заземлювачів під час експлуатації можна було перевірити лише шляхом розкопування. Тому актуальним і важливим завданням є аналіз наявних і розробка нових технічних підходів для систематичного контролю технічного стану ЗП.

Метою роботи є розробка та обґрунтування рекомендацій щодо вдосконалення системи заземлення для підстанцій напругою 110/35/10 кВ з метою підвищення електробезпеки, зниження опору заземлювальних пристроїв і забезпечення надійної роботи обладнання під час експлуатації та аварійних режимів роботи.

Задачі дослідження:

1. Провести аналіз сучасного стану систем заземлення підстанцій напругою 110/35/10 кВ та визначити основні напрямки їх удосконалення.
2. Дослідити вплив типів заземлювачів та ґрунтових умов на величину опору заземлення.
3. Виконати розрахунки та моделювання різних схем заземлювальних пристроїв із використанням сучасних методик та спеціалізованого програмного забезпечення.
4. Визначити оптимальні конструктивні рішення для забезпечення мінімального опору заземлення та високого рівня електробезпеки.
5. Розробити практичні рекомендації щодо реалізації та експлуатації вдосконалених систем заземлення на підстанціях напругою 110/35/10 кВ.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ЗАЗЕМЛЕННЯ

1.1 Основні поняття та елементи заземлювальних пристроїв

Одним із ключових засобів забезпечення електробезпеки при виникненні замикань на корпус електроустановки є система захисту. До таких заходів належать: заземлення, занулення [6], потенціальне вирівнювання, використання низької напруги, електрична ізоляція, автоматичне відключення живлення та застосування роздільних трансформаторів.

Заземлювачем називають провідникову частину або систему з'єднаних між собою провідників, які мають контакт з ґрунтом — безпосередньо або через проміжне провідне середовище, наприклад бетон [2].

Штучні заземлювачі — це заземлювальні конструкції, які спеціально монтуються з метою створення заземлення. Їх зазвичай формують із вертикальних і/або горизонтальних електродів [4], виготовлених зі сталі чи міді.

Вертикальні електроди заглиблюють у землю так, щоб їх верхній край знаходився не менше ніж на 0,7–0,8 м від поверхні. Якщо заземлювач містить декілька вертикальних елементів, вони з'єднуються горизонтальними електродами, які розміщують на аналогічній глибині. Типова довжина вертикального електрода становить 3–5 м, але в умовах високого питомого опору верхнього шару ґрунту вона може досягати 10–15 м або більше. Відстань між сусідніми вертикальними електродами має бути не меншою за довжину одного електрода, а для кращого результату — у 2–3 рази більшою.

У випадках, коли верхній шар ґрунту має низький питомий опір, заземлення може бути реалізоване виключно за допомогою горизонтальних електродів, без використання вертикальних елементів.

Природні заземлювачі — це металеві частини будівельних конструкцій або інженерних комунікацій (наприклад, арматура фундаментів, трубопроводи, підземні елементи опор ліній електропередач), які одночасно виконують функції заземлення. Основна перевага такого підходу — економія матеріалів та зниження витрат на монтаж. Водночас до недоліків належить відкритий доступ до них

сторонніх осіб, що може спричинити порушення цілісності з'єднань. Отже, при застосуванні природних заземлювачів ці ризики слід враховувати.

Електрично незалежні заземлювачі [5] — це окремі заземлювачі, розташовані на достатній відстані один від одного так, що навіть при протіканні максимального струму в одному з них, потенціали інших суттєво не змінюються.

Заземлювальний провідник — це елемент, який забезпечує електричне з'єднання між заземлювачем і конкретною точкою електроустановки або системи.

Система заземлення (заземлювальний пристрій) — сукупність провідникових елементів, до складу якої входять заземлювачі, з'єднані між собою провідниками та допоміжними компонентами.

До основних характеристик системи заземлення належать: опір розтікання струму, напруга дотику та напруга кроку в зоні розтікання струму.

Заземлення — це електричне з'єднання між обраною точкою електросистеми або обладнанням та локальною землею. Воно може бути як навмисним (запроєктованим), так і випадковим (наприклад, через пошкодження ізоляції), а також постійним або тимчасовим.

Захисне заземлення — це заземлення, метою якого є забезпечення електробезпеки шляхом зниження напруги дотику до безпечного рівня [10].

Функціональне (робоче) заземлення — це заземлення, що забезпечує нормальне функціонування електроустановки, але не пов'язане безпосередньо з електробезпекою.

Захисний провідник — елемент електроустановки, що призначений для створення умов електробезпеки.

Захисний заземлювальний провідник — провідник, що забезпечує надійне з'єднання заземлюваних частин з заземлювачем у рамках системи захисного заземлення.

Провідник системи вирівнювання потенціалів — спеціальний провідник, призначений для зменшення різниці потенціалів між елементами електроустановки в разі аварійної ситуації або нормальної експлуатації.

1.2 Класифікація систем заземлення та їхні особливості

Тип системи заземлення визначає спосіб підключення нейтралі (N-провідника) або середньої точки (М-провідника) джерела живлення до землі, а також принцип з'єднання відкритих провідних частин електроустановок із землею. Цей параметр є ключовим при організації електрозахисту в мережах з напругою до 1 кВ.

Згідно з класифікацією, наведеною в стандарті **ГОСТ 30331.2**, розрізняють такі типи систем заземлення:

- **TN:** TN-S, TN-C, TN-C-S;
- **TT;**
- **IT.**

У системах **TN** одна з точок струмопровідної частини джерела живлення (найчастіше — нейтраль) має жорсткий контакт із землею (глухозаземлення). Відкриті провідні елементи електроустановок та корпуси електроприймачів приєднуються до цієї точки через захисний провідник PE та, залежно від конфігурації, провідники N або PEN.

Позначення типів систем походять від скорочень:

- **T (terra)** — означає безпосереднє з'єднання визначеної точки джерела живлення з контуром заземлення;
- **N (neutral)** — нейтральна точка або середній вивід джерела;
- **S (separate)** — окремі провідники для нейтралі й захисту;
- **C (combined)** — поєднання функцій нейтрального та захисного провідника в одному (PEN).

У трифазних електромережах зазвичай заземлюється нейтраль трансформатора або генератора. У разі її відсутності чи недоступності, заземлюється один із фазних провідників. У мережах однофазного або постійного струму трьохпровідної конфігурації заземлюють середню точку, а в двопровідних — один із виводів джерела.

Таким чином, вибір типу системи заземлення впливає на конструкцію, надійність захисту, вимоги до провідників та можливість забезпечення електробезпеки в умовах коротких замикань та аварійних режимів.

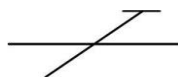


Рисунок 1.1 - РЕ-провідник

N – провідник (нейтральний провідник) - це є провідник в електроустановках напругою до 1 кВ електрично-з'єднаний з нейтральною точкою джерела живлення, яке використовується для розподілення електричної енергії (рис. 1.2).

Нейтральна точка (джерела живлення) - спільна точка з'єднаної в зірку багатofазної системи або заземлена точка однофазної системи [1].



Рисунок 1.2 - N – провідник

M – провідник (провідник середньої точки) - провідник в електроустановках напругою до 1 кВ, який електрично-з'єднаний з середньою точкою джерела живлення і використовується для розподілення електричної енергії.



Рисунок 1.3 - M – провідник PEN - провідник - провідник в електроустановках напругою до 1 кВ, який поєднує в собі функції - захисного (РЕ-) і нейтрального (N-) провідників.

Терміни «нейтральний» і «захисний» провідники в системі TN є синонімами відповідних термінів «нульовий робочий» і «нульовий захисний» провідники, вони були в попередніх редакціях ПУЕ, а також в нормативних документах України, і не відповідають термінам міжнародних стандартів.



Рисунок 1.4 - PEN - провідник

T – “terra” – земля :безпосереднє приєднання однієї точки струмопровідних частин джерела живлення до заземлювального пристрою. У трифазних мережах такою точкою, як правило, є нейтраль джерела живлення (якщо нейтраль недоступна, то заземлюють фазний провідник), у трипровідних мережах

однофазного струму і постійного струму - середня точка, а у двопровідних мережах - один з виводів джерела однофазного струму або один з полюсів джерела постійного струму.



Рисунок 1.5 - Позначення землі на схемі

N – нейтраль (від англ. «neutral» - нейтраль) - безпосередній зв'язок відкритих провідних частин електроустановки з точкою заземлення. N – друга літера, яка позначає характер заземлення відкритих провідних частин електроустановки.

Позначення N – провідника (або M – провідника) на схемі:

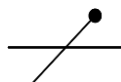


Рисунок 1.6 - Позначення N – провідника на схемі

1.2 Варіанти реалізації систем заземлення

Система TN-S передбачає використання окремих провідників для нейтралі (N або M) та захисту (PE) протягом усієї довжини електричної мережі. Позначка S (від англійського *separate* — «розділений») вказує на те, що функції нейтрального і захисного провідників виконуються різними кабелями.

Приклади реалізації системи TN-S представлені на схемах (рис. 1.7, 1.8), де:

- ДЖ — джерело живлення;
- L1, L2, L3 — фазні провідники;
- 1 — заземлюючий пристрій джерела живлення;
- 2 — відкриті провідні частини обладнання;
- 3 — заземлювач для відкритих провідних частин;
- 4 — захисний провідник PE.

Елементи, пов'язані із заземленням, на схемах умовно позначаються потовщеними лініями.

Система TN-C (Рисунок 1.9)- система TN, в якій N - або M- і PE-

провідники поєднано в одному PEN-провіднику по всій мережі С (від англ.

«combine» - об'єднувати) - функції N- і РЕ-провідників виконує один PEN - провідник.

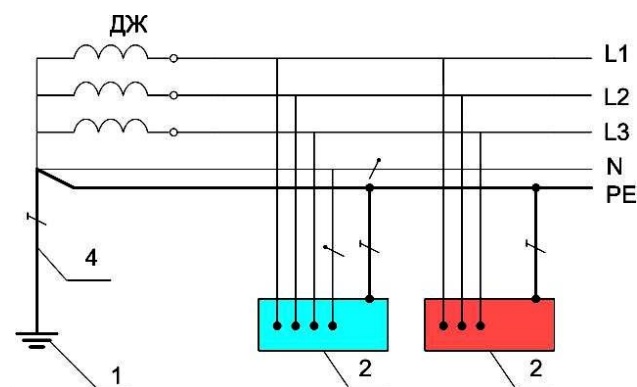


Рисунок 1.7 - Схема 1 виконання системи TN-S (у джерела схема «зірки»)

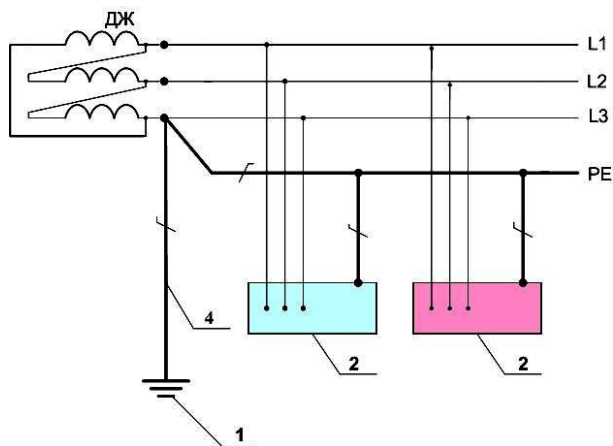


Рисунок 1.8 – Схема 2 виконання системи TN-S (у джерела схема «трикутника»)

Схеми виконання систем TN-C: ДЖ - джерело живлення; L1, L2, L3 - лінійні (фазні) провідники; 1 - заземлювач джерела живлення; 2 - відкриті провідні частини; 3 - заземлювач відкритих провідних частин; 4 - захисний заземлювальний провідник. Заземлення системи позначено потовщеними лініями.

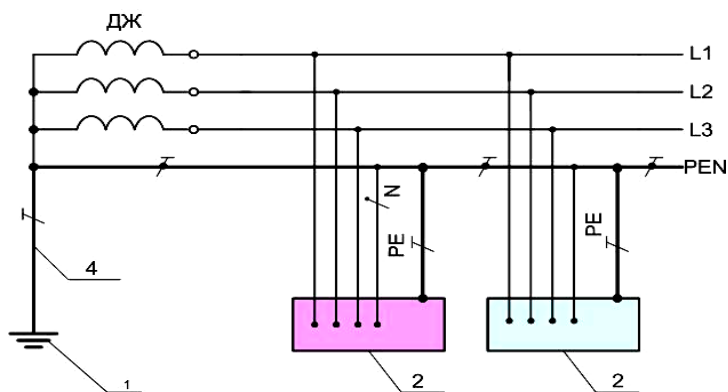


Рисунок 1.9 - Схеми виконання систем TN-C (у джерела схема «зірки»)

Система TN-C-S (рис.1.10) - система TN, в якій N- або M- і PE- провідники поєднано в одному провіднику в частині мережі, починаючи від джерела живлення.

Схеми виконання систем TN-C-S: ДЖ - джерело живлення; L1, L2, L3 - лінійні (фазні) провідники; 1 - заземлювач джерела живлення; 2 - відкриті провідні частини; 3 - заземлювач відкритих провідних частин; 4 - захисний заземлювальний провідник. Заземлення системи позначено потовщеними лініями.

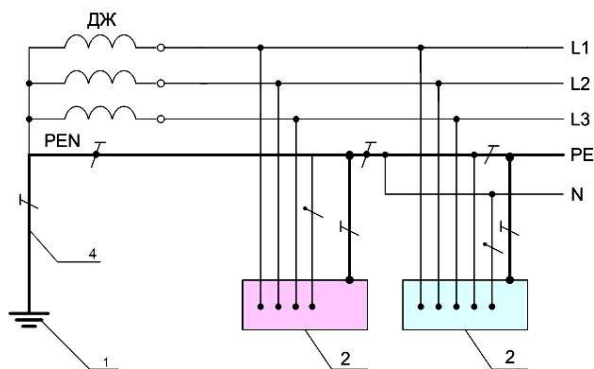
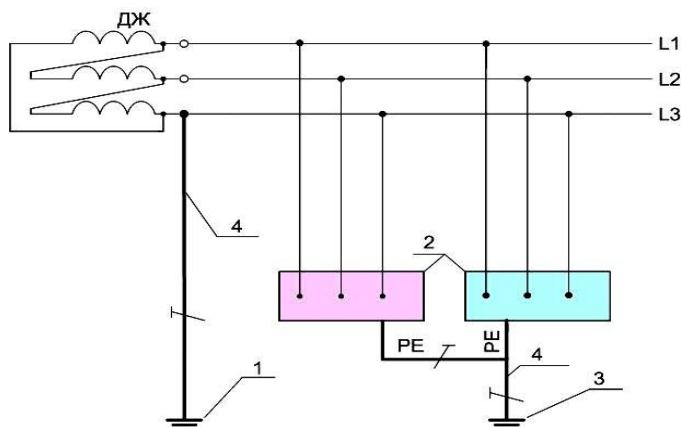


Рисунок 1.10 - Схема виконання систем TN-C-S (у джерела схема «зірки»)

Система TT (рис. 1.11) - система, одна точка струмопровідних частин джерела живлення якої заземлена, а відкриті провідні частини електроустановки приєднано до PE-провідника, з'єднаного із заземлювачем, електрично-незалежним від заземлювача, до якого приєднано точку струмопровідних частин джерела живлення.

Схеми виконання систем ТТ: ДЖ - джерело живлення; L1, L2, L3 - лінійні (фазні) провідники; 1 - заземлювач джерела живлення; 2 - відкриті провідні частини; 3 - заземлювач відкритих провідних частин; 4 - захисний заземлювальний провідник. Заземлення системи позначено потовщеними лініями.

Рисунок 1.11- Схема 1 виконання системи ТТ



Схеми виконання системи ТТ (рис.1.11, рис.1.12): ДЖ - джерело живлення; L1, L2, L3 - лінійні (фазні) провідники; 1 - заземлювач джерела живлення; 2 - відкриті провідні частини; 3 - заземлювач відкритих провідних частин; 4 - захисний заземлювальний провідник. Заземлення системи позначено потовщеними лініями.

Система ІТ (рис.1.13) - система, в якій мережа живлення ізольована від землі чи заземлена через прилади або (і) пристрої, що мають великий опір, а відкриті провідні частини електроустановки приєднано до заземленого РЕ-провідника.

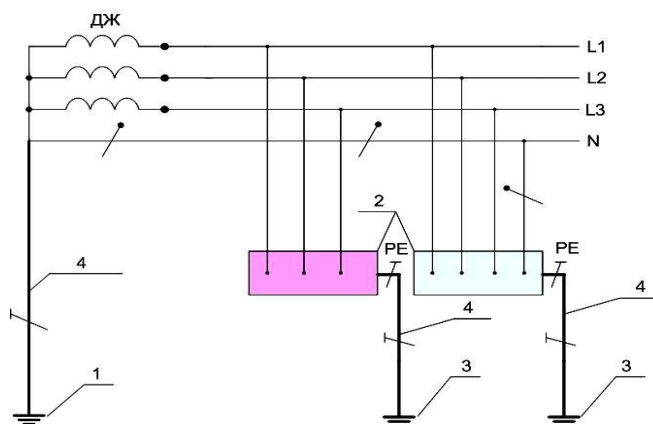


Рисунок 1.12 – Схема 2 виконання системи ТТ (у джерела схема «зірки»)

Система ІТ - система, в якій мережа живлення ізольована від землі чи заземлена через прилади або (і) пристрої, що мають великий опір, а відкриті провідні частини електроустановки приєднано до заземленого РЕ- провідника.

Схема 1 виконання систем ІТ (рис.1.13): ДЖ - джерело живлення; L1, L2, L3 - лінійні (фазні) провідники; 1 - заземлювач джерела живлення; 2 - відкриті провідні частини; 3 - заземлювач відкритих провідних частин; 4 - захисний заземлювальний провідник. Заземлення системи позначено потовщеними лініями.

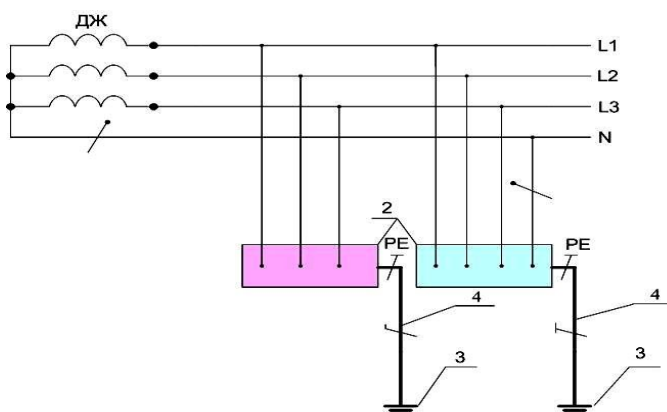


Рисунок 1.13 - Схема 1 виконання системи ІТ (у джерела схема «зірки»)

Схема 1 і схема 2 виконання систем ІТ (рис.1.13 та рис.1.14) містить:

ДЖ - джерело живлення; L1, L2, L3 - лінійні (фазні) провідники; 1 - заземлювач джерела живлення; 2 - відкриті провідні частини; 3 - заземлювач відкритих провідних частин; 4 - захисний заземлювальний провідник. Заземлення системи позначено потовщеними лініями.

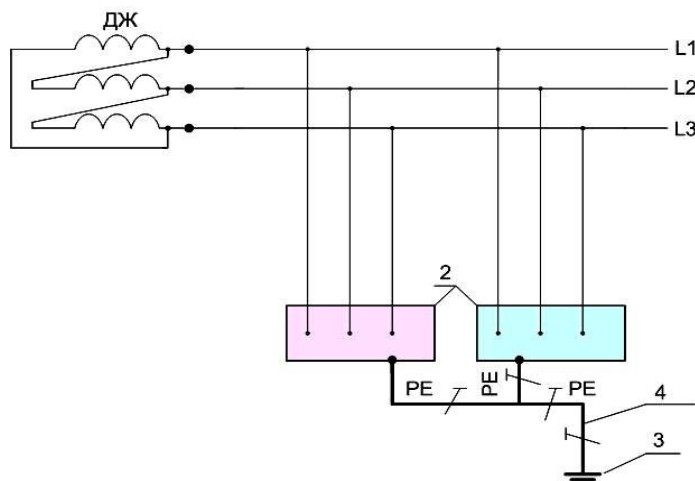


Рисунок 1.14 – Схема 2 виконання системи ІТ (у джерела схема «трикутника»)

1.3 Вплив зовнішніх умов на роботу заземлювальних систем

У світовій практиці підвищення надійності та пропускнуєї здатності ліній електропередач, а також забезпечення безпечної експлуатації об'єктів енергетичної галузі нерозривно пов'язані з поліпшенням рівня безпеки при роботі з високовольтним обладнанням.

Одним із ключових аспектів, що визначає безпечність технічного обслуговування, ремонту та експлуатації електроенергетичних установок, є правильне проектування, встановлення та підтримка у належному стані заземлювальних пристроїв.

Системи заземлення, що використовуються на електростанціях і підстанціях, виконують як захисні, так і функціональні завдання. Зокрема, вони забезпечують:

- електробезпеку персоналу;
- заземлення нейтралі трансформаторів, шунтових та дугогасних реакторів, а також іншого обладнання як високої, так і низької напруги;
- створення струмового кола для спрацьовування захисту у разі замикання на землю;
- ефективне відведення імпульсних струмів від блискавковідводів та розрядників;

- захист підземних конструкцій від пошкоджень, спричинених струмами замикання.

Типова система заземлення включає:

- природні заземлювачі, які вже наявні в конструкціях будівель чи споруд;
- штучні заземлювачі, які монтуються безпосередньо в зоні розміщення електроустановок;
- а за потреби — **глибинні або виносні заземлювачі**, що забезпечують додатковий ефект у несприятливих ґрунтових умовах.

Для врахування кліматичних особливостей при розробці заземлювальних систем використовується класифікація території України за середньорічною температурою повітря (див. рис. 1.15), оскільки температурні коливання впливають на електропровідність ґрунту [14]

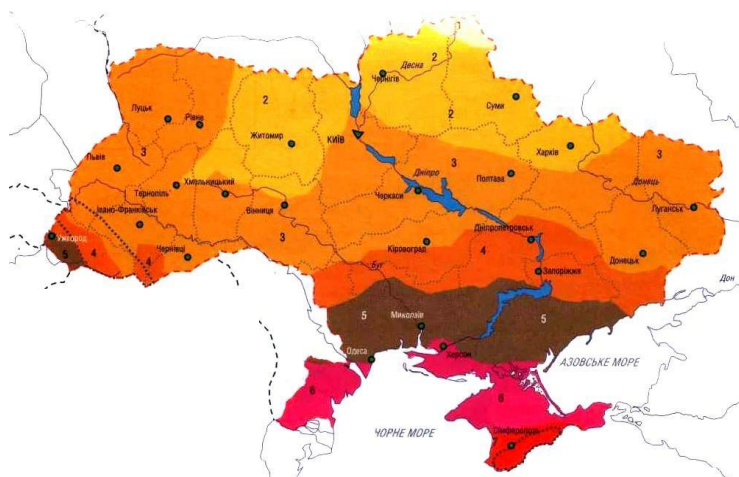


Рисунок 1.15 - Територіальне районування України за середньорічною температурою повітря [7]

Як можна бачити в таблиці 1.2, опір зразка ґрунту змінюється вельми швидко при збільшенні вмісту води в ньому приблизно до 20%.

Таблиця 1.2 - Опори зразків ґрунту [19]

Вміст вологи, %	Питомий опір, Ом·см	
	Ґрунт	Піщаний суглинок
0	>109	>109
2,5	250000	150000
5	165000	43000
10	53000	18500
15	19000	10500
20	12000	6300
30	6400	4200

Питомий опір ґрунту, також, залежить від температури [21]. Питомий опір піщаного суглинка з вмістом вологи 12,5% змінюється при зміні температури від +20 до -15°C від 7200 до 330 000 Ом·см

Таблиця 1.3 – Залежність питомого опору піщаного суглинка від температури

Температура, °C	Температура по Фаренгейту, F	Питомий опір, Ом·см
20	68	7200
10	50	9900
0	32 (вода)	13800
0	32 (лід)	30000
-5	23	79000
-15	14	330000

Таблиця 1.4 - Види та характеристики ґрунтів [18]

Ґрунт	Питомий опір ґрунту Ом×м
Пісок	400-1000 і більше
Супісок	150-400
Суглинок	40-150
Глина	8-70
Чорнозем	10-50
Садова земля	40

Кліматичні зони розташування заземлювальних пристроїв. Найнесприятливішими умовами для заземлювальних пристроїв є тропічні і субтропічні кліматичні пояси, а також пояси з великою кількістю сезонних дощів.

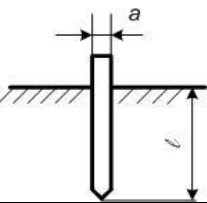
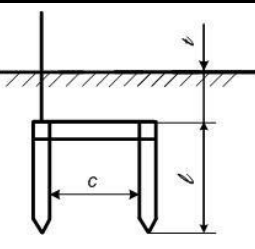
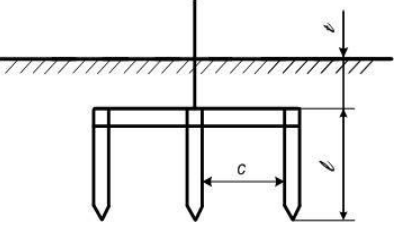
У період промерзання або висихання ґрунту, що характерно для зимових чи посушливих сезонів, відбувається значне зростання питомого опору у верхніх

шарах землі. Це, у свою чергу, веде до збільшення загального опору заземлювального пристрою. Найбільше це стосується горизонтальних заземлювачів, які закладені на глибину 0,7–0,8 м.

У випадку, коли контурний заземлювач повністю охоплює базову конструкцію по периметру, його слід з'єднувати з нею щонайменше в чотирьох точках. Якщо ж контурна система не охоплює конструкцію повністю, допускається з'єднання у двох або трьох місцях.

На ділянках всередині меж огорожі електроустановки горизонтальні елементи штучного заземлення укладаються на такій самій глибині, як і відповідні частини базової конструкції. За межами огорожі прокладання таких елементів повинне здійснюватися на глибині не меншій за 1,0 м відповідно до вимог ПУЕ (пункт 1-7-53).

Таблиця 1.5 - Види конструкцій заземлювальних пристроїв [18]

Заземлювач	Рисунок	Розміри, м
Залізобетонна свая		$d = 0,25-0,4$ $l \geq 5$
Сталевий двострижневий: полоса розміром 40×4 мм стрижні діаметром $d=10-20$ мм		$t \geq 0,5$ $l = 3-5$ $c = 3-5$
Сталевий тристрижневий: полоса розміром 40×4 мм, стрижні діаметром $d= 10-20$ мм		$t \geq 0,5$ $l = 3-5$ $c = 5-6$

1.4 Аналіз геоелектричної будови ґрунтів та особливостей поширення блукаючих струмів

Геоелектрична структура приповерхневих шарів земної кори зазвичай є неоднорідною, що обумовлено особливостями геологічної будови, типом порід, рівнем вологості, температурними умовами, а також ступенем мінералізації підземних вод.

У більшості прикладних задач землю можна розглядати як багат шарове електропровідне середовище. Щоб встановити параметри такої геоелектричної моделі, зокрема питомий опір та товщину окремих шарів, використовують метод вертикального електричного зондування (ВЕЗ), який реалізується за допомогою симетричних чотириелектродних систем.

Допускається орієнтовне визначення геоелектричних характеристик ґрунтів за результатами геологічного буріння майданчика з подальшим використанням довідкових значень питомого опору для різних типів порід. Однак цей підхід доцільний лише для електроустановок з номінальною напругою у межах 3–35 кВ.

Для більш точного дослідження, на території електроустановки доцільно проводити як основні, так і додаткові вимірювання методом ВЕЗ:

- Основні зондування дозволяють отримати розріз геоелектричної будови до глибини, яка суттєво впливає на формування електричних параметрів заземлювального контуру.
- Допоміжні зондування орієнтовані на дослідження верхніх шарів, зокрема у випадках виявленої горизонтальної неоднорідності.

Глибина, на яку здійснюється зондування, визначається розмірами майданчика:

- при площі до 100×100 м — глибина має бути не меншою за 140 м;
- для більших площ — не меншою за довжину найбільшої діагоналі майданчика (позначається як D);
- для допоміжних ВЕЗ — не менше $0,2D$;

- при проектуванні свердловинних заземлювачів — глибина дослідження має відповідати довжині електрода.

Основні зондування рекомендується виконувати в центрі ділянки у двох перпендикулярних напрямках. Допоміжні ж вимірювання проводяться з декількох точок, вибраних з урахуванням геометрії майданчика. Кількість таких точок та напрям зондувань визначаються згідно зі схемами, наведеними на рисунку 2.1, де в центрі умовно позначено основні ВЕЗ.

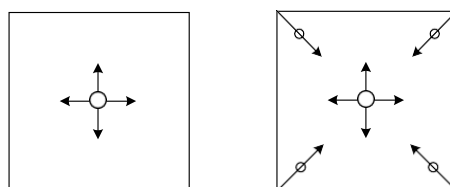


Рисунок 2.1 – Схема розміщення центрів зондування та напрямків рознесення електродів у методі ВЕЗ

Проведення досліджень для вибору місця під виносний заземлювач є доцільним у разі, коли при зондуванні з рознесенням електродів на понад 10 метрів фіксується мінімальне значення питомого опору ґрунту (в Ом·м), яке перевищує довжину найбільшої діагоналі ділянки електроустановки, виражену в метрах.

Обстеження під виносний заземлювач виконується на відстані до 2 км від меж майданчика електроустановки. При виборі місця встановлення такого заземлювача рекомендується орієнтуватися на території з потенційно низьким питомим опором, зокрема: заболочені ділянки, заплави річок, озера, невеликі водойми, покинуті пасовища та низини з пухкими відкладеннями.

На обраній ділянці під виносний заземлювач проводиться одне вимірювання методом вертикального електричного зондування (ВЕЗ) на глибину не менше 100 м.

У разі необхідності визначення електричних параметрів ґрунту вздовж трас, де планується прокладка кабелів або трубопроводів, рекомендується використовувати вже наявні дані геофізичних досліджень. Якщо таких даних

немає, вимірювання виконуються за допомогою БЕЗ рівномірно по всій довжині траси з урахуванням наступних рекомендацій:

- якщо довжина траси до 1 км — одне зондування в кінцевій точці;
- при довжині від 1 до 4 км — зондування виконуються приблизно через кожен кілометр, включаючи крайні точки (але не більше трьох точок);
- для трас понад 4 км — проводяться чотири вимірювання, зокрема на завершенні траси.

Результати зондування повинні містити значення питомого опору окремих шарів землі (в Ом·м) та відповідну товщину кожного шару (у метрах).

Оскільки значення, отримані в основних і допоміжних точках вимірювання на одній ділянці, можуть не збігатися, для подальших розрахунків заземлення необхідно виконати усереднення параметрів. Це робиться окремо для кожного шару, і при цьому результати по нижньому (підстилаючому) шару у допоміжних БЕЗ не враховуються. У підсумку використовуються середньоарифметичні значення питомого опору і потужностей шарів.

Для трас кабелів і трубопроводів, окрім безпосередніх результатів зондувань, також враховуються усереднені геоелектричні параметри ділянки, де розташована електроустановка. У вихідних даних для проектування ці параметри фіксуються як середні значення питомого опору й товщини шарів.

Оцінка впливу блукаючих струмів є актуальною, коли питомий опір верхнього шару ґрунту менший за 100 Ом·м, а майданчик електроустановки знаходиться ближче ніж 30 км до залізничних колій з постійним струмом або інших джерел струмів аналогічної природи.

Вимірювання параметрів блукаючих струмів [15] проводяться при максимальному рознесенні двох крайніх електродів під час основних БЕЗ. Електроди занурюються на глибину 0,5–0,8 м, а між ними по черзі підключаються вольтметр із вхідним опором не менше 20 кОм/В шкали та міліамперметр із вхідним опором 1–5 Ом.

Зняття показників відбувається кожні 10–15 секунд протягом 10–15 хвилин. На основі отриманих даних розраховують середні значення напруги і струму між електродами, а також щільність струму (визначається як відношення середнього струму до площі занурення електродів у ґрунт). Якщо спостерігається зміна напруги за величиною або знаком, це свідчить про присутність у землі блукаючих струмів.

1.5 Ідентифікація природних заземлювальних елементів і металевих інженерних мереж у прилеглий до електроустановки зоні

Під час проектування заземлювальних пристроїв (ЗП) пріоритетним завданням є максимально повне залучення природних заземлювачів, оскільки їх використання дозволяє суттєво зменшити витрати на матеріали та скоротити вартість монтажу заземлення. З огляду на це, в рамках передпроектних досліджень важливо провести детальний аналіз природних заземлювальних елементів, визначивши їх технічні та електричні характеристики.

До переліку природних заземлювачів, що підлягають обстеженню, відносять об'єкти, розташовані не далі ніж 0,5 км від меж електроустановки. Серед них:

- грозозахисні троси та опори ліній електропередач, які будуть під'єднані до електроустановки;
- сталеві трубопроводи;
- силові кабелі;
- рейкові шляхи;
- обсадні труби експлуатаційних та пошукових свердловин.

При інспектуванні природних заземлювачів, у першу чергу, здійснюється вимірювання опору розтікання струму. Якщо здійснити пряме вимірювання неможливо, проводиться оцінка геометричних параметрів заземлювача (наприклад, довжини, діаметра тощо). Для повітряних ліній уточнюється опір заземлення перших 20 опор, що наближені до електроустановки, з використанням даних енергосистеми.

Також обстежується заземлювальна система об'єкта, до якого підведені кабельні мережі, або того, який забезпечує електроустановку водою через металевий трубопровід. Якщо вимірювання опору такої системи неможливе, оцінюють загальну площу споруд та будівель відповідного об'єкта.

Використання природних заземлювачів, які є частиною сторонніх інженерних об'єктів, обов'язково має бути погоджене з власником цих споруд.

На результати вимірювання електричних характеристик заземлення можуть істотно впливати розташовані в ґрунті металеві комунікації, зокрема в зоні розміщення струмових та потенціальних ліній вимірювальної апаратури. До таких елементів належать: трубопроводи нафтогазової інфраструктури, водогони, кабельні лінії, підземні частини будівель тощо.

Для урахування впливу зазначених об'єктів під час інженерних вишукувань їх слід ідентифікувати та нанести на топографічний або ситуаційний план електроустановки. Виявленню підлягають лише ті комунікації, що розташовані на відстані до трьох довжин найбільшої діагоналі майданчика, на якому проєктується електроустановка.

1.6 Оцінювання корозійної дії ґрунту на заземлювальні елементи

Для встановлення рівня корозійної активності ґрунтового середовища доцільно використовувати результати попередніх досліджень, виконаних у межах суміжних проєктів, або скористатися вже складеними картами засоленості ґрунтів.

З метою аналізу агресивного впливу ґрунту на заземлювальні конструкції зразки ґрунту слід відбирати переважно в районах, що характеризуються високою та дуже високою корозійною активністю.

Відбір ґрунтових проб здійснюється в зонах проведення основного та допоміжного вертикального електричного зондування (ВЕЗ). Для об'єктивної оцінки корозійної небезпеки визначаються такі параметри:

- питомий опір ґрунту за результатами ВЕЗ;
- природна вологість (w);

- ступінь насичення ґрунту водою (K_w);
- концентрація розчинених речовин у ґрунтовому електроліті (C).

Проби ґрунту бажано відбирати зі збереженням природної структури, без механічного порушення. Забір здійснюється на глибинах, що відповідають рівню розміщення горизонтальних заземлювачів. Для вертикальних елементів заземлення окремий забір проб не вимагається.

У разі, якщо проєктом передбачено засипання майданчика електроустановки штучним (насипним) ґрунтом, тоді аналіз проводиться на зразках цього ґрунту, навіть якщо його структура є порушеною.

2 МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ЗАЗЕМЛЕННЯ

2.1 Цілі та завдання проєктування і розрахунку

Основною задачею розрахунку є визначення таких конструктивних параметрів штучного заземлювального пристрою, за яких забезпечується відповідність вимогам нормативних документів, досягається заданий рівень електробезпеки, довговічність елементів заземлення та економічна ефективність їх реалізації. До параметрів, що підлягають визначенню, належать: геометричні розміри заземлювача; схеми розміщення повздовжніх і поперечних горизонтальних провідників; довжина, кількість і місце встановлення вертикальних електродів; переріз струмопровідних елементів; глибина прокладання горизонтальних елементів системи заземлення.

Крім визначення геометричних характеристик конструкції, у ході розрахунку слід отримати додаткові дані, що дозволяють:

- оцінити вплив сезонних змін параметрів ґрунту на опір розтікання;
- розрахувати параметри блискавкозахисту;
- передбачити методи контролю стану заземлення в процесі експлуатації;
- запобігти небезпечному переносу потенціалів за межі електроустановки.

До числа таких даних відносяться:

1. **Сезонний коефіцієнт опору**, який застосовується для приведення результатів вимірювання опору заземлення до умов обраного розрахункового сезону, якщо вимірювання виконуються в інший період.

2. **Еквівалентний питомий опір землі**, що використовується для перевірки відповідності фактичного опору розтікання нормованим значенням у випадках, коли ґрунт має високий питомий опір (відповідно до ПУЕ 1-7-69).

3. **Еквівалентний питомий опір для цілей блискавкозахисту**, який визначається з урахуванням літніх умов, коли опір ґрунту є мінімальним (ПУЕ 4-2-136, 4-2-137, 4-2-139, 4-2-144).

4. **Гранично допустимий розрахунковий опір ЗП**, що враховується у випадках, коли допускається перевищення мінімального значення опору за певних умов.

5. **Розподіл електричного потенціалу за межами майданчика**, який необхідний при проектуванні протяжних заземлювачів природного типу та для аналізу переносу потенціалу.

6. **Сезонний коефіцієнт** визначається як відношення значення опору розтікання заземлення для періоду найвищого питомого опору ґрунту до відповідного значення для періоду найменшого опору.

Визначення еквівалентного питомого опору, необхідного для нормування, здійснюється на підставі розрахунків, що враховують найгірші сезонні умови. Для блискавкозахисних заходів розрахунок проводиться з урахуванням опору ґрунту в теплу пору року.

Усі результати мають бути відображені у графічній частині (креслення ЗП) і відповідному текстовому розділі пояснювальної записки до проєкту підстанції або станції.

Конструктивне проектування заземлення має на меті створення робочих креслень штучних і виносних заземлювачів з урахуванням результатів розрахунків і вимог до їх конструкції, що встановлені відповідними нормативними документами.

2.2 Ключові етапи розрахунку заземлювальних пристроїв

Розрахунок параметрів заземлювального пристрою є критично важливим етапом у процесі його проектування, оскільки саме на цій стадії визначаються основні технічні характеристики, необхідні для подальшого конструювання. Від точності проведеного розрахунку залежить як ефективність роботи заземлення, так і доцільність витрат на його реалізацію.

Якість розрахунку безпосередньо визначається двома чинниками: достовірністю вихідних даних та коректністю обраної методики. Ці аспекти слід враховувати як при плануванні передпроектних досліджень, так і при виборі підходу до розрахунків.

До найважливіших вихідних параметрів належать:

- електричні характеристики ґрунту;
- розрахунковий струм, що використовується для визначення напруг дотику та потенціалу на елементах ЗП;
- опір природних заземлювачів або дані, необхідні для його оцінювання.

У разі відсутності достовірної інформації щодо геоелектричної структури майданчика та значення розрахункового струму, виконувати розрахунок ЗП вважається недоцільним — він набуває формального характеру. В такій ситуації проектування обмежується реалізацією базової конфігурації заземлення з подальшим уточненням її параметрів уже на етапі монтажу та вводу електроустановки в експлуатацію. Якщо бракує даних про природні заземлювачі, розрахунок може бути лише орієнтовним, що слід враховувати у випадках, коли виникає потреба у значному розширенні системи або застосуванні виносних чи глибинних заземлювачів.

Для підвищення точності розрахунків доцільно застосовувати методики, що враховують складну геометрію системи заземлення, а також реальне просторове розташування її елементів. Огляд рекомендованих методів і програмних засобів наведено у **Додатку Б**.

Розрахунок має виконуватись з урахуванням майбутнього розвитку підстанцій та електростанцій. У випадку, коли в межах проєкту передбачено кілька етапів розширення (наприклад, пусковий період, проміжні стадії і повна реалізація), слід виконати окремі розрахунки для кожного з цих етапів із урахуванням відповідних значень струмів замикання та параметрів заземлення.

На основі отриманих результатів приймається рішення щодо реалізації конструкції ЗП для першочергового етапу (пускового) та для наступного розвитку підстанції чи розподільного пристрою.

Процес розрахунку умовно поділяється на два основні етапи:

1. **Підготовка вихідних даних, яка включає:**

- адаптацію вимірних характеристик ґрунту до умов розрахункового сезону;
- визначення розрахункового струму;
- попередній аналіз і розрахунок природних заземлювачів;
- формування моделі штучного або виносного заземлювача для подальших розрахунків.

2. **Розрахунок параметрів штучного та виносного заземлення.**

Якщо застосовуються методики, які враховують розподілені параметри заземлення, аналіз природних заземлювачів може бути інтегрований безпосередньо в основний етап розрахунку штучного заземлення.

2.3 Розрахункові параметри електричних характеристик ґрунту

Розрахунок параметрів заземлювального пристрою виконується з урахуванням найбільш несприятливих сезонних умов, за яких опір ґрунту досягає максимальних значень. Такі умови зазвичай зумовлені змінами питомого опору у верхніх шарах землі залежно від вологості, температури або ступеня промерзання.

Для адекватного врахування сезонного впливу всі виміряні значення електричних параметрів ґрунту приводяться до умов так званого **розрахункового сезону**. Це здійснюється за допомогою спеціального коефіцієнта сезонної корекції та глибини впливу сезонних змін. Коефіцієнт відображає відношення максимального питомого опору верхнього шару землі протягом року до значення, зафіксованого під час вимірювання. У північних районах, де глибина промерзання перевищує 0,5 м, критичним вважається зимовий період. У південних — період інтенсивного висихання ґрунту влітку.

Розрахунок напруги дотику виконується для умов найменшого опору поверхневого шару, оскільки в цей період найбільша ймовірність виникнення небезпечних потенціалів. У таких випадках розрахунок опору поширення струму від стоп людини ведеться саме для сезону з мінімальним питомим опором.

Максимальне значення струму, що використовується в розрахунках, може виникнути як при короткому замиканні на шинах відкритого розподільчого пристрою, так і на лінії, що відходить. Якщо сукупний струм усіх ліній, приведених до рівня напруги короткого замикання, становить менше половини струму к.з., то як розрахунковий приймається струм, який виникає при короткому замиканні поблизу електроустановки — типово для електростанцій. Якщо ж цей сумарний струм перевищує половину струму к.з., то береться загальний струм усіх ліній, що живлять к.з., — характерно для розподільчих підстанцій. У розрахунках також враховується можливість струмів у системі «трос–опора».

Для електроустановок напругою 110/35/10–6 кВ розрахунковим струмом вважається струм короткого замикання з урахуванням віднімання струму нейтралі трансформатора (якщо вона заземлена) і струму в тросі ПЛ, підключеному до заземлення. Детальні рекомендації подано в Додатку Д.

У випадках, коли станція або підстанція має декілька розподільчих пристроїв різних класів напруги, розрахунок проводиться окремо для кожного з них. При розрахунках напруги дотику в конкретних точках враховуються всі джерела струму, що надходять у заземлення (струм у точці к.з., нейтралі, блискавкозахисні троси тощо).

Розрахунок термічної стійкості виконують за струмом однофазного короткого замикання. Для електроустановок класу 3–35 кВ розрахунковий струм визначається згідно з ПУЕ 1-7-58.

У проєктуванні систем заземлення підстанцій та розподільчих пристроїв обов'язково розглядається можливість використання природних провідників як заземлювачів. До них відносяться: опори й троси повітряних ліній, кабелі з металевією оболонкою або бронею, трубопроводи, залізничні колії, обсадні труби

свердловин (ПУЕ 1-7-70). Також до природних відносяться й виносні заземлювачі.

Як вихідні дані для розрахунків використовують вхідний опір природних заземлювачів. Якщо застосовується методика, що враховує розподілені параметри, природні елементи можуть бути включені безпосередньо в розрахункову модель, без попереднього вимірювання їх опору.

За відсутності змоги провести вимірювання, вхідний опір визначається аналітичними методами. Це ж стосується і новозапроектованих інженерних комунікацій, які планується використати як природні заземлювачі. Всі оцінки виконуються з урахуванням умов розрахункового сезону (максимальний питомий опір).

У випадках, коли програмне забезпечення обмежене кількістю елементів, які можна врахувати в розрахунках, або коли необхідно зменшити час обробки, реальний заземлювач замінюється спрощеною **розрахунковою моделлю**. Для ефективності розрахунків важливо дотримуватись двох критеріїв:

1. Модель повинна містити мінімальну кількість елементів.
2. Кількість симетричних (конгруентних) пар елементів має бути максимальною.

До таких пар відносяться елементи з однаковими або близькими геометричними параметрами та взаємним розташуванням. У модель обов'язково включаються ключові елементи, що суттєво впливають на електричні характеристики:

- заземлювачі по периметру фундаменту;
- зовнішні елементи конструкції;
- провідники в зонах нейтралей трансформаторів і короткозамикачів;
- вертикальні електроди по краях системи;
- частина елементів, рівномірно розміщених по площі, зокрема фундаменти.

При розрахунку напруги дотику слід зберегти елементи, розташовані в безпосередній близькості до розрахункових точок.

Модель може бути змодельована як симетрична структура з аналогічною площею, що еквівалентна реальній конструкції, особливо при розширенні за межі базового майданчика або при проєктуванні виносного заземлення.

Вертикальні електроди розміщують по периметру з рівномірним кроком, а також у місцях підключення блискавкозахисного обладнання, трансформаторів, реакторів тощо. Діаметр електродів у місцях фундаментів приймається рівним діаметру арматури.

Для вертикальних елементів розрахункової моделі визначаються три характерні довжини:

- **мінімальна** (на 1 м глибше зони сезонних змін);
- **максимальна** (обумовлена технічною можливістю монтажу);
- **ефективна** (щоб електрод досягав шару з низьким питомим опором).

Переріз провідників визначається відповідно до вимог до їх міцності, корозійної та термічної стійкості (для установок 110 кВ — обов'язково).

У моделі також позначаються контрольні точки на відстані 1 м від елементів, особливо в місцях підключення до трансформаторів, реакторів, обладнання, а також до заземлювальної огорожі. Кількість таких точок узгоджується з обраною методикою розрахунку.

2.4 Розрахунок конструкції штучного та виносного заземлення

Перед безпосереднім розрахунком параметрів штучного заземлювача необхідно провести підготовку вихідних даних. При цьому передбачається, що всі природні заземлювачі вже підключені до штучного заземлення.

Для електроустановок класу напруги 35–110 кВ доцільно розпочати розрахунок штучного заземлювача з визначення його конструкції відповідно до критерію допустимої напруги на ЗП. Надалі ці результати використовуються для

оцінки відповідності конструкції вимогам щодо допустимої напруги дотику, а також для оцінки опору розтікання струму.

Процедура розрахунку за критерієм напруги на заземленні складається з трьох послідовних етапів:

1. Аналіз варіанта розташування заземлення в межах фундаментної конструкції.
2. Розрахунок заземлення, що розміщується в межах загальної огорожі об'єкта.
3. Розрахунок конфігурації, яка виходить за межі огорожі.

На кожному з етапів проводяться базові розрахунки, що дозволяють оцінити доцільність варіанта, а також додаткові — для визначення оптимального рішення.

Пошук рішення завершується на тому етапі та в тій конфігурації, де напруга на заземлювачі наближається до гранично допустимого значення, але не перевищує його. Якщо вже на першому етапі напруга на ЗП виявляється в 1,5 раза вищою за нормативну межу, другий етап розрахунків можна не проводити.

Етап 1: Розрахунок у межах базової конструкції

На першій стадії рекомендується послідовно виконати:

- розрахунок для стандартної базової конструкції;
- розрахунок із додаванням вертикальних заземлювачів ефективної довжини;
- розрахунок з використанням вертикальних елементів максимальної допустимої довжини.

Якщо позитивний результат досягається при використанні ефективної довжини, далі виконується серія розрахунків зі зменшення кількості вертикальних елементів для визначення їх оптимальної кількості. Аналогічно, якщо рішення знайдено для максимальної довжини, то за допомогою додаткових варіантів уточнюється мінімальна необхідна довжина вертикальних електродів.

Етап 2: Розрахунок у межах огорожі

На цьому етапі послідовно аналізуються такі варіанти:

- максимальне розширення конструкції заземлювача в межах огорожі;
- аналогічне розширення з використанням вертикальних елементів ефективної довжини;
- з вертикальними елементами максимальної довжини.

При цьому відстань від зовнішнього контуру заземлювача до огорожі повинна становити щонайменше 2 метри. Це обмеження дозволяє дотриматися норм ПУЕ (1-7-54), якщо огорожа не є частиною заземлення.

Як і на попередньому етапі, у випадку позитивного результату проводиться серія уточнювальних розрахунків для визначення оптимального числа та довжини вертикальних елементів.

Етап 3: Розрахунок за межами огорожі

На завершальному етапі виконуються:

- розрахунок при мінімальному розширенні заземлення за межі огорожі (відстань — не менше 1 м);
- розрахунок з вертикальними електродами ефективної довжини;
- розрахунок з електродами максимальної довжини;
- розрахунок при максимально можливому винесенні заземлення за межі огорожі з вертикальними елементами ефективної довжини.

Якщо на цьому етапі конструкція забезпечує прийнятні результати, виконуються уточнюючі розрахунки, щоб вибрати оптимальні розміри зовнішньої частини або вирішити питання доцільності застосування вертикальних елементів. Якщо жодне з рішень не задовольняє вимоги, застосовується **свердловинне або виносне заземлення**. У цьому випадку свердловинні електроди враховуються як частина штучного заземлення, а виносні — як природні заземлювачі.

Проектування виносного заземлювача здійснюється за наперед визначеною геометрією, з урахуванням ефективної довжини вертикальних електродів. Вибір між свердловинним і виносним варіантами базується на технічних можливостях, економічній доцільності та загальній вартості.

Після визначення конфігурації заземлення, що задовольняє умову допустимої напруги на ЗП, здійснюється перевірка конструкції за параметром **напруги дотику**. Розрахунки виконуються у такій послідовності:

- первинна конструкція без змін;
- та сама конструкція із заходами зниження напруги дотику (наприклад, екранування або ізолювання покриттів).

Розрахунок за допустимим опором розтікання виконується аналогічно до аналізу за напругою на ЗП.

Для підстанцій з напругою 3–35 кВ, за наявності даних вертикального електричного зондування, зазвичай достатньо виконати лише перший етап. У специфічних умовах — третій. Якщо є результати буріння, досить першого варіанту. У випадку відсутності рішення, доведення характеристик ЗП до нормативних значень переноситься на етап монтажу або введення об'єкта в експлуатацію.

Після остаточного вибору конфігурації визначаються **сезонний коефіцієнт опору** та **еквівалентний питомий опір ґрунту**, які використовуються у подальших розрахунках та аналізах.

3 ПРОЕКТУВАННЯ ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ І ПІДСТАНЦІЙ

3.1 Загальні методи розрахунку параметрів заземлювальних пристроїв

До параметрів заземлювальних пристроїв відносять в першу чергу параметри заземлювача (це параметри заземлювального електроду - штиря). Такими параметрами є:

- опір металу штиря і опір контакту провідника зі штирем,
- опір контакту штиря з ґрунтом,
- глибина занурення електроду в землю (L),
- радіус електроду (r),
- матеріал електроду,
- конфігурацію електроду,
- довжина електроду,
- опір заземлювального штиря в омах (R).

Як правило сам штир виготовляється з добре провідного металу, тому його опором і контакту можна знехтувати. Опором можна знехтувати, якщо електрод щільно вбитий в землю і на поверхні штиря нема фарби, масла чи будь-яких речовин.

До параметрів заземлювальних пристроїв відносять:

- конструктивне виконання ЗП,
- опір ЗП;
- напругу дотику на ЗП (якщо ЗП виконано за нормами напруги дотику),
- напруга на ЗП при стіканні в нього струму замикання на землю,
- корозійний стан елементів ЗП та ін.

Опір заземлювального штиря визначають за формулою (3.1) професора Дуайта (для одиночного електроду)

$$R = \rho / 2\pi L \cdot \frac{(\ln 4L) - 1}{r}, \quad (3.1)$$

де ρ - середній питомий опір ґрунту.

Опір ґрунту струму, що протікає визначається наступним чином. Можна уявити, що штир оточений концентричними шарами ґрунту, і найближчий до нього шар має найменшу площу, але найбільший опір. По мірі віддалення від електроду, його площа збільшується, а питомий опір зменшується.

Теоретично опір зразка ґрунту визначається за формулою

$$R_{zp} = \rho \cdot L / A, \quad (3.2)$$

де: ρ - питомий опір ґрунту, L – глибина зразка ґрунту, A – площа зразка ґрунту.

При обчисленні опору землі, питомий опір ґрунту вважають сталим, хоча в природі це практично не зустрічається

В більшості випадків штир, заземлений на 10 футів (3 м), задовольняє вимогам NEC. Мінімальний діаметр сталевого штиря дорівнює 5/8 дюйма (1,59 см), а мідного або покритого міддю сталевого штиря - 1/2 дюйма (1,27 см) (NEC 1987, 250-83-2).

На практиці мінімальний діаметр 3 м штиря заземлення дорівнює:

- 1/2 дюйма (1,27 см) для звичайного ґрунту,
- 5/8 дюйма (1,59 см) для сирого ґрунту,
- 3/4 дюйма (1,91 см) для твердого ґрунту або для штиря довше 10 футів.

3.2 Розрахунок параметрів заземлювального пристрою підстанції 35/10 кВ

В якості вихідних даних для розрахунку приймаємо наступні дані. Мережі 35 та 10 кВ працюють з ізольованою (а не з компенсованою) нейтраллю трансформаторів. На стороні 35 кВ струм замикання на землю (I_{33})

$I_{33}=6$ А, на стороні 10 кВ $I_{33}=20$ А. Власні потреби підстанції одержують живлення від трансформатора 10/0,4 кВ. Обмотка 0,4 кВ має заземлену нейтраль. Природних заземлювачів немає. Питомий опір землі при нормальній вологості $\rho=100$ Ом·м. Устаткування підстанції розташовано на площі 18×28 м. Підстанція знаходиться в другому кліматичному районі.

Опір пристрою заземлення для ВРУ 35 кВ за формулою (3.3)

$$R \leq \frac{250}{I_{\text{зз}}} = \frac{250}{6} = 41,66 \text{ Ом.} \quad (3.3)$$

Опір пристрою заземлення для установок 10 кВ за формулою (3.4)

$$R \leq \frac{250}{I_3} = \frac{250}{20} = 12,5 \text{ Ом.} \quad (3.4)$$

Опір пристрою заземлення нейтралі обмотки 0,4 кВ трансформатора не повинен бути більше 4 Ом. Отже остання умова є вирішальною для розрахунків (3.5):

$$R_3 \leq 4 \text{ Ом.} \quad (3.5)$$

Пристрій заземлення виконують як контур із штаби (полоси – рос.) 40×4 мм, яка прокладається на глибині 0,7 м навколо устаткування підстанції, та вертикальних стрижнів довжиною 5 м і діаметром 12 мм. Відстань між стержнями попередньо приймаємо $a = 10$ м. Загальна довжина штаби 100 м. Попередня кількість стержнів 10 (рис. 3.1).

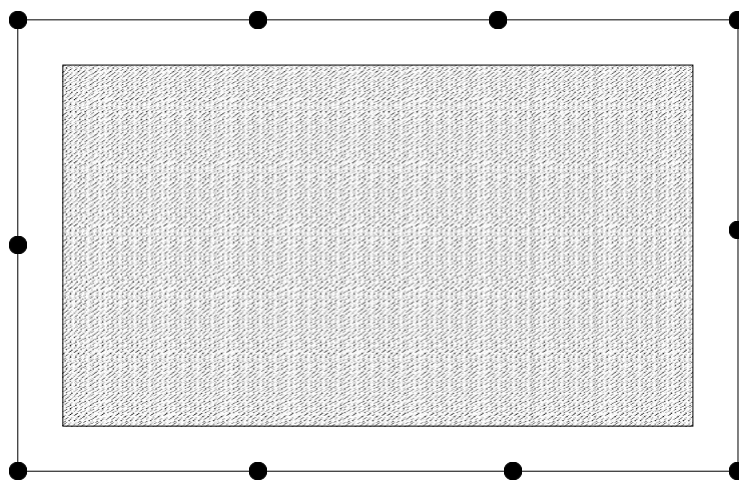


Рисунок 3.1 – Розташування контуру заземлювального пристрою

Визначаємо опір одного вертикального стержня за формулою (3.5)

$$R_{ст.од} = \frac{0,0366 \cdot \rho_{розр.}}{\ell} \times \left(\lg \frac{2\ell}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t + \ell}{4t - \ell} \right), \quad (3.5)$$

де $\rho_{розр.}$ – розрахунковий питомий опір ґрунту, Ом·м; ℓ – довжина стержня заземлювача, м; d – діаметр стержня, м; t – глибина закладання стержня, яка дорівнює відстані від поверхні землі до середини заземлювача, м.

$$R_{ст.од} = \frac{0,366 \cdot 125}{5} \left(\lg \frac{2 \cdot 5}{12 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 3,5 + 5}{4 \cdot 3,5 - 5} \right) =$$

$$= 9,15 (\lg 833,3 + 0,5 \lg 2,1) = 26,725 + 1,47 = 28,198 \text{ Ом},$$

де $\rho_{розр.} = K_{кл} \rho = 1,25 \cdot 100 = 125 \text{ Ом} \cdot \text{м}$; $K_{гг} = 1,25$ в.о., $\rho = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Питомий опір ґрунту ρ (таблиця 4.1) вимірюється при нормальній вологості ґрунту.

$K_{кл}$ - кліматичний коефіцієнт. У середніх кліматичних районах (другий, третій кліматичні райони) для вертикальних електродів довжиною 3...5 м $K_{кл} = 1,45...1,15$; для горизонтальних електродів довжиною 10...15 м $K_{кл} = 3,5...2,0$.

Таблиця 3.1 – Наближені питомі опори ґрунтів

Ґрунт	Питомий опір, Ом·м	Ґрунт	Питомий опір, Ом·м
Пісок	100...400	Чорнозем	10...50
Супісок	150...400	Торф	20
Суглинок	40...150	Вапняк	1000...2000
Глина	8...70	Скелястий	2000...4000

Визначаємо попередню конфігурацію заземлювача з урахуванням його розміщення на відведеній території, причому відстань між вертикальними електродами беремо не менше їх довжини. За планом заземлюючого пристрою визначаємо попередню кількість вертикальних заземлювачів і довжину горизонтальних заземлювачів.

Необхідна кількість вертикальних заземлювачів

$$n_B = \frac{R_{ст.од}}{R_3 \cdot \eta_B}, \quad (3.6)$$

де η_B - коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів, який залежить від відстані a між ними, їх довжини l та кількості n_B (таблиця 3.2).

Так для $a/l=2$, $R_3=4 \text{ Ом}$ – значення η_B дорівнює 0,66 в.о.

Таблиця 3.2 - Коефіцієнти η_B використання вертикальних заземлювачів, розміщених по контуру, без урахування впливу з'єднувальної штаби

Відношення a/l	Кількість електродів в n_B	Коефіцієнт використання, η_B	Відношення a/l	Кількість електродів n_B	Коефіцієнт використання, η_B
1	4	0,66...0,72	2	20	0,61...0,66
	6	0,58...0,65		40	0,55...0,61
	10	0,52...0,58		60	0,52...0,58
	20	0,44...0,50	3	4	0,84...0,86
	40	0,38...0,44		6	0,78...0,82
	60	0,36...0,42		10	0,74...0,78
2	4	0,76...0,80		20	0,68...0,73
	6	0,71...0,75		40	0,64...0,69
	10	0,66...0,71		60	0,62...0,67

$$n_B = \frac{28,198}{4 \cdot 0,66} = 10,28 \text{ шт.}$$

Приймаємо $n_B=10$ штук вертикальних електродів.

Визначимо опори горизонтальних заземлювачів (заземлювальної, з'єднувальної штаби контуру)

$$R_r = \frac{0,366 \cdot \rho_{розр.г}}{l} \lg \frac{2l}{b \cdot t}, \quad (3.6)$$

де $\rho_{розр.г}$ – розрахунковий питомий опір ґрунту для горизонтальних заземлювачів, Ом·м; l – довжина з'єднувальної штаби, м; b – ширина штаби, м; t – глибина

закладання штаби, м.

Тоді

$$R_{\Gamma} = \frac{0,366 \cdot 3 \cdot 10}{100} \lg \frac{2 \cdot 100^2}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7} = 1,098 \lg \frac{2 \cdot 100000 \cdot 10^3}{40 \cdot 0,7} =$$

$$= 1,098 \lg 714,285 \cdot 10^3 = 6,427 \text{ Ом.}$$

З урахуванням коефіцієнта використання η_{Γ} опір з'єднувальної штаби (3.7):

$$R'_{\Gamma} = \frac{R_{\Gamma}}{\eta_{\Gamma}}, \quad (3.7)$$

$$R'_{\Gamma} = \frac{6,427}{0,4} = 16,06 \text{ Ом,}$$

де η_{Γ} - коефіцієнт використання з'єднувальної штаби.

Значення коефіцієнта η_{Γ} визначаємо з таблиці 3.3. Так для $a/l=2$, $n=10$ шт. значення η_{Γ} дорівнює 0,4 в.о.

Таблиця 3.3 – Коефіцієнт використання з'єднувальної штаби в контурі з вертикальних електродів

Відношення a/l	Кількість вертикальних електродів						
	4	6	8	10	20	30	50
1	0,45	0,40	0,36	0,34	0,27	0,24	0,21
2	0,55	0,48	0,43	0,40	0,32	0,30	0,28
3	0,70	0,64	0,60	0,56	0,45	0,41	0,37

Необхідний опір вертикальних заземлювачів з урахуванням використання з'єднувальної штаби визначають за виразом (3.8):

$$R'_B = \frac{R'_{\Gamma} R_3}{R'_{\Gamma} - R_3}, \quad (3.8)$$

$$R'_B = \frac{16,06 \cdot 4}{16,06 - 4} = 5,327 \text{ Ом.}$$

Уточнена кількість стержнів

$$n'_B = \frac{R_{\text{ст.од}}}{R'_B \cdot \eta'_B}, \quad (3.9)$$

$$n'_B = \frac{28,198}{5,327 \cdot 0,66} = 8,$$

де η'_B – уточнене значення коефіцієнта використання. Так для $a/l=2$, $n=10$ штук значення η'_B дорівнює 0,4 в.о.

Отже остаточно приймаємо $n=8$, тобто двох стержнів в торцях контуру підстанції не встановлюємо (рис. 3.2)

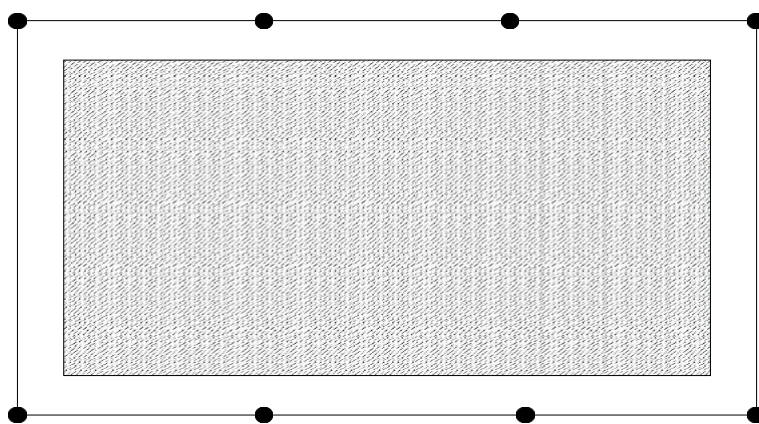


Рисунок 3.2 – Розташування контуру заземлювального пристрою

3.3 Розрахунок пристроїв заземлення для електроустановок з ефективно заземленою нейтраллю

Відповідно до ПУЕ пристрої заземлення в електроустановках 110 кВ і вище розраховують за допустимим опором заземлення $R_3=0,5$ Ом. Це спричинює невиправдані перевитрати провідникового матеріалу та трудовитрат при спорудженні пристроїв заземлення для підстанцій з малою площею, які не мають природних заземлювачів. Досвід експлуатації РУ дозволяє перейти до нормування напруги дотику, а не величини R_3 , оскільки на тіло людини фактично діє напруга:

$$U_{\text{л}} = U_{\text{дот.}} - U_{\text{с}}, \quad (3.10)$$

де $U_{\text{дот.}}$ – напруга дотику; $U_c = R_c \cdot I_{\text{л}}$ – напруга на ступнях людини.

Струм, який протікає через тіло людини, повинен бути меншим від допустимого для людини струму (4.11):

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{дот.}} - U_c}{R_{\text{л}}} . \quad (3.11)$$

Таблиця 3.4 – Допустимі значення струму для людини

Тривалість, с	0,1	0,2	0,5	0,7	1,0
Допустимий для людини струм, мА	500	250	100	75	65

Знаючи допустимий струм, можна знайти допустиму напругу [4] дотику:

$$U_{\text{дот.}} \leq R_{\text{л}} I_{\text{л}} + U_c \quad (3.12)$$

або

$$U \leq R_{\text{л}} I_{\text{л}} + 1,5 I_{\text{л}} \rho_{\text{В.Ш}} . \quad (3.13)$$

Рекомендовані для розрахунків допустимі напруги дотику приведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Значення допустимої напруги дотику для людини

Тривалість, с	0,1	0,2	0,5	0,7	1	від 1 до 3
Найбільша допустима напруга дотику для людини, В	500	400	200	130	100	65

За розрахункову тривалість впливу прийнято (3.14)

$$\tau_B = t_{\text{р.з}} + t_{\text{в.в}} , \quad (3.14)$$

де $t_{\text{р.з}}$ – час дії релейного захисту, $t_{\text{в.в}}$ – час вимикання вимикача.

Для робочих місць, де персонал торкається заземлених частин при оперативних перемикаваннях, беруть час дії резервного релейного захисту [24, 25], для інших місць – час дії основного релейного захисту. Пристрій заземлення, який виконується за нормами напруги [3] дотику, повинен забезпечити у будь-який час року обмеження $U_{\text{дот}}$ до нормованого значення в

межах всієї території підстанції, а напруга на пристрої заземлення не повинна перевищувати 10 кВ. Якщо $U_z > 5...10$ кВ, то необхідно вжити заходи щодо захисту ізоляції кабелів, які відходять від підстанції, та щодо запобігання виносу високого потенціалу за межі електроустановки.

Пристрій заземлення для установок 10 кВ і вище виконують із вертикальних електродів, з'єднувальної штаби, штаби, яку прокладають вздовж рядів устаткування, а також вирівнювальних штаб, які прокладають у поперечному напрямі. Відстань між штабами не повинна перевищувати 30 м.

Є різні методи розрахунку складних заземлювачів. Розглянемо один із них. Складний заземлювач (рис. 3.3, а, б) замінюється розрахунковою квадратною моделлю (рис. 3.4, а, б) за умови рівності їх площ S , загальної довжини L_Γ горизонтальних провідників, глибини їх прокладання, кількості і довжини вертикальних заземлювачів та глибини їх прокладання.

У розрахунках багат шаровий ґрунт замінюється двошаровим, верхній – товщиною h_1 , з питомим опором ρ_1 , нижній з питомим опором ρ_2 .

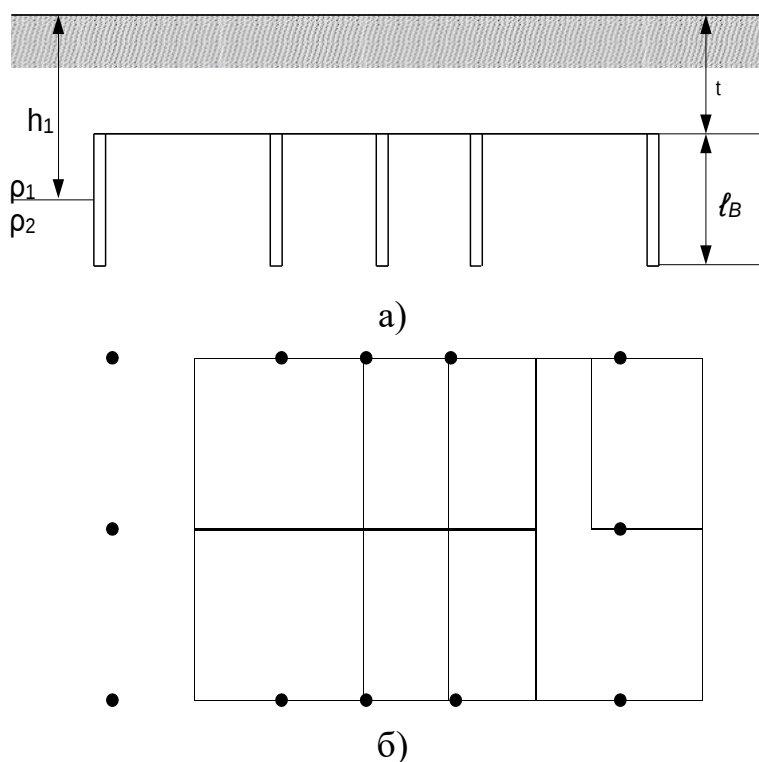


Рисунок 3.3 – Складний заземлювач

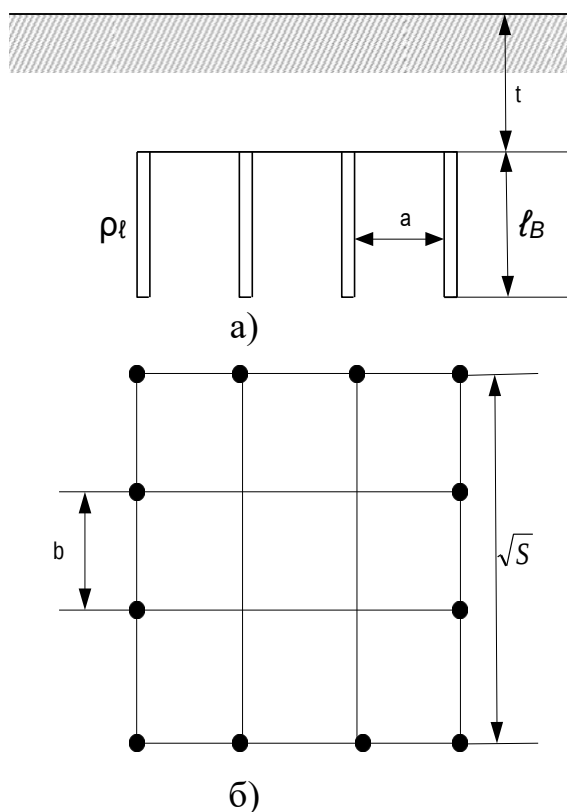


Рисунок 3.4 – Розрахункова квадратна модель складного заземлювача

Величини ρ_1 , ρ_2 , h , беруть на основі вимірювань з урахуванням кліматичного коефіцієнта $K_{кл}$.

Розрахунок проводять у такій послідовності.

1. Визначають напругу на заземлювачі

$$U_3 = \frac{U_{\text{дом.дон}}}{K_{\text{дом}}}, \quad (3.15)$$

де $U_{\text{дом.дон}}$ – допустима напруга дотику; $K_{\text{дом}}$ – коефіцієнт напруги дотику, для складних заземлювачів коефіцієнт визначається за формулою:

$$K_{\text{дом}} = \frac{M_\beta}{\left(\frac{l L}{\frac{B}{a\sqrt{S}}} \right)^{0,45}}, \quad (3.16)$$

де l_B – довжина вертикального заземлювача, м; a – відстань між вертикальними заземлювачами, м; S – площа пристрою заземлення, м²; M – параметр, який залежить від ρ_1/ρ_2 .

Таблиця 3.6 – Залежність параметру M від ρ_1/ρ_2

ρ_1/ρ_2	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	10
M	0,36	0,5	0,62	0,69	0,72	0,75	0,77	0,79	0,8	0,82

Коефіцієнт, який визначають опором тіла людини R_l та опором протікання струму від ступнів R_c :

$$\beta = \frac{R_l}{R_l + R_c}. \quad (3.17)$$

При розрахунках $R_l=1000$ Ом; $R_c=1,5 \cdot \rho_{в.ш.}$

Оскільки (3.18)

$$U_3 = R_3 I_3, \quad (3.18)$$

то опір заземлюючого пристрою повинен бути, Ом:

$$R_{з, доп} \leq \frac{U_3}{I_3}, \quad (3.19)$$

де I_3 – розрахунковий струм однофазного короткого замикання в установці, яка розглядається.

Визначають загальний опір природних заземлювачів, Ом [2]:

$$R_{пр} = \frac{1}{\frac{1}{R_{каб}} + \frac{1}{R_{ф}} + \frac{1}{R_{с.т.о}}}, \quad (3.20)$$

де $R_{каб}$ – опір розтікання струму кабелів; $R_{ф}$ - опір розтікання струму фундаментів. $R_{с.т.о}$ - опір розтікання струму трос-опори.

Якщо $R_{пр} < R_{з, доп}$, то споруджується тільки сітка із горизонтальних штаб;
якщо

$R_{пр} > R_{з, доп}$, то необхідне спорудження штучного заземлювача.

Визначають також загальний опір складного заземлювача, який розглядається як розрахункова модель, Ом [11]:

$$R_3 = A \frac{\rho_\ell}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_\ell}{L_r + L_B}, \quad (3.21)$$

$$\text{де } A = \begin{cases} 0,444 - 0,84 \frac{\ell_B + t}{\sqrt{S}} \end{cases} \text{ за умови } 0 \leq \frac{\ell_B + t}{\sqrt{S}} \leq 0,1; A = \begin{cases} 0,358 - 0,25 \frac{\ell_B + t}{\sqrt{S}} \end{cases}$$

$$\text{за умови } 0,1 \leq \frac{\ell_B + t}{\sqrt{S}} \leq 0,5,$$

ρ_ℓ - еквівалентний питомий опір землі, Ом×м, L_B – загальна довжина вертикальних заземлювачів, $L_B = \ell_B n_B$.

Якщо опір заземлювача перевищує величину, яка вимагається, то необхідно збільшити площу, довжину та кількість вертикальних заземлювачів. Все це вимагає додаткових затрат і виконати це на підстанції досить важко. Для зменшення небезпеки дотику можна зробити підсипку гравію або щебеню з шаром 0,15 – 0,2 м по всій території ВРУ.

Питомий опір верхнього шару при цьому різко зростає (5000 – 10000 Ом×м), що знижує струм, який протікає через тіло людини, оскільки зростає опір R_c . У розрахунках відповідно зменшується коефіцієнт β і збільшується допустимий опір заземлюючого пристрою.

4 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМ ЗАЗЕМЛЕННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ТА ПІДСТАНЦІЙ

Як і в інших складових електроенергетичних систем, на повітряних лініях електропередачі можуть виникати аварійні ситуації, пов'язані з пошкодженням ізоляції. Такі дефекти, як обрив проводу, пробій або перекриття ізоляторів, можуть спричинити виникнення струмів, які протікають через уражену опору, а іноді й через сусідні. Це супроводжується появою потенціалу на конструкції опори, що створює загрозу виникнення дотикової та крокової напруги.

Для забезпечення безпеки людей, які перебувають у безпосередній близькості до пошкоджених елементів лінії, опори підключаються до заземлювальних пристроїв. Це дозволяє суттєво знизити опір розтікання струму в землю. Варто зазначити, що на дерев'яних опорах потенціал зазвичай не виникає, тому навіть за наявності металевих елементів (наприклад, траверс) заземлення не виконується.

У високовольтних мережах із напругою понад 330 кВ захисне заземлення опор зазвичай не застосовують через дію високошвидкісного релейного захисту та складність забезпечення нормативних рівнів напруги дотику і кроку.

Крім цього, заземлення опор обов'язкове за наявності елементів грозозахисту. Основним засобом блискавкозахисту на повітряних лініях є встановлення тросів, які відводять імпульсні струми від прямих ударів блискавки в конструкції лінії або самі троси. Заземлювальний пристрій у таких випадках забезпечує безпечне відведення цих струмів у ґрунт, зменшуючи навантаження на ізоляцію (рис. 4.1.).

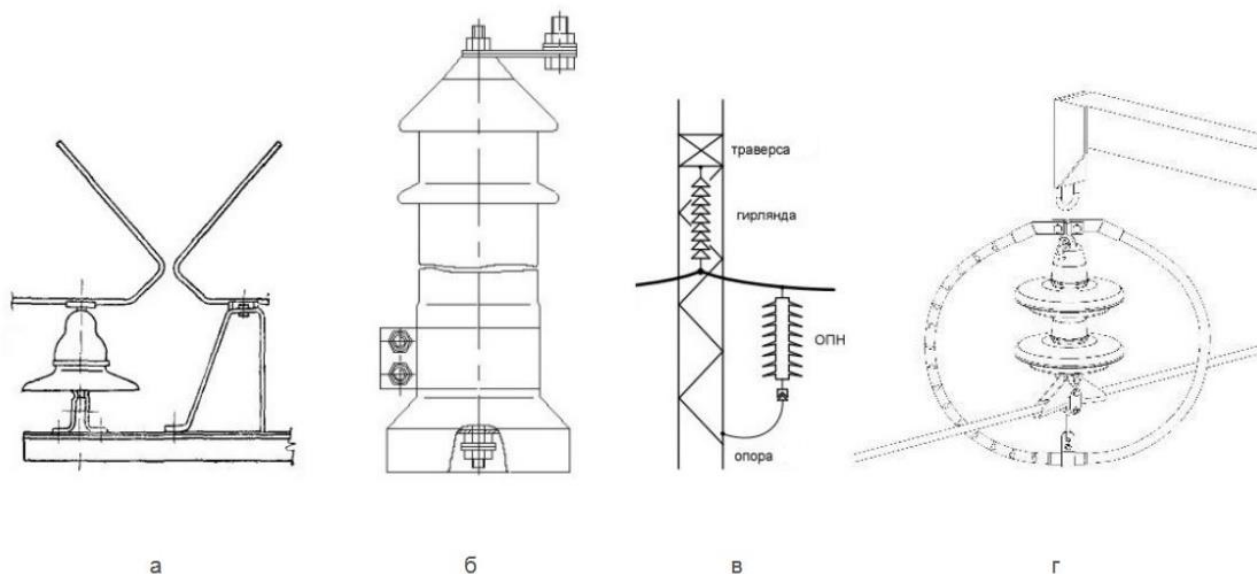


Рисунок 4.1 – Засоби грозозахисту повітряних ліній електропередачі:
а) іскровий проміжок; б) вентильний розрядник; в) ОПН; г) довго-іскровий розрядник.

Також, заземлюються металеві та залізобетонні опори ПЛ 110-500 кВ без засобів блискавкозахисту, якщо це необхідно за умовами забезпечення роботи релейного захисту та автоматики.

Як заземлювальні спуски на ПЛ використовують конструкції металевих опор або поздовжню арматуру залізобетонних опор. По дерев'яних і з/б опорах за відсутності спеціальних випусків арматури заземлювальні спуски прокладають круглою сталлю діаметром не менш як 10 мм або багатожильним проводом перерізом не менш як 35 мм². Кількість спусків має бути не менше двох. Один кінець заземлювального спуску приєднують до заземлювача, а другий до заземлювального елемента. На металевих опорах заземлюванні елементи приєднують до опори, а стовбур опори внизу з'єднують із заземлювачем (рис. 4.2).

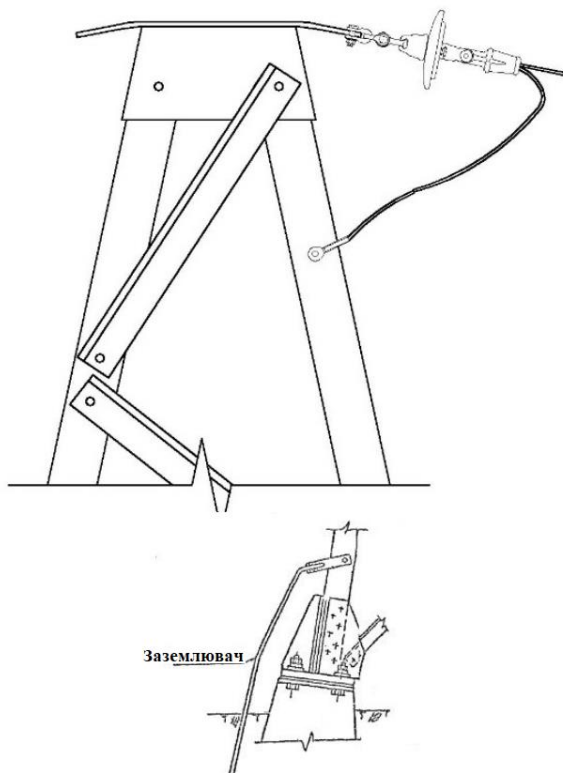


Рисунок 4.2 - Підключення заземлюваних елементів до заземлювача на металевих опорах

Для опор ПЛ 110 кВ у ґрунтах з питомим опором до 1000 Ом·м як природні заземлювачі можуть бути використані залізобетонні фундаменти опор (збірні, монолітні, палі, набивні). При цьому фундаменти не повинні мати гідроізоляції полімерними матеріалами і необхідно забезпечити металевий зв'язок між анкерними болтами та арматурою фундаменту.

Штучні заземлювачі опор являють собою металеві провідники, які перебувають у безпосередньому зіткненні із землею. Конструктивні рішення, що приймаються під час проектування заземлювального пристрою, залежать від типу фундаменту опори. Розташування та лінійні розміри штучних заземлювачів мають бути узгоджені з величиною питомого опору ґрунту і розташуванням стійок опори.

Для створення численних шляхів струму блискавки або пошкодження, що стікає з опори в землю, і забезпечення достатнього повного використання провідності розтікання одиничних заземлювачів рекомендується виконувати

заземлювальний пристрій у вигляді груп заземлювачів, розташованих біля кожної стійки опори (рис. 4.3).

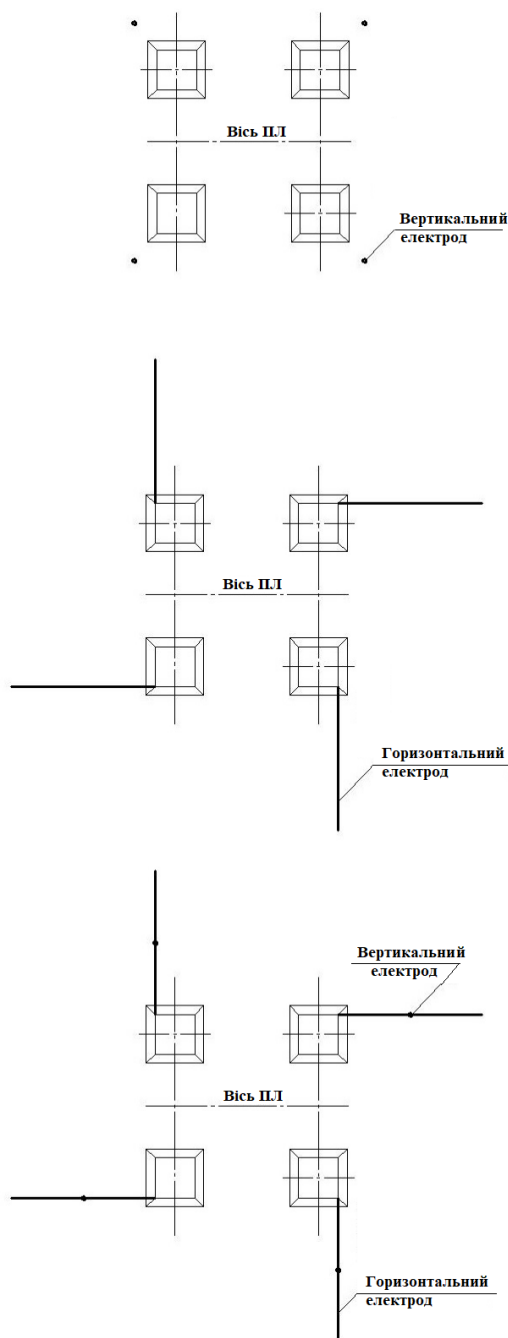


Рисунок 4.3 - Різні конфігурації заземлювального пристрою

Залежно від питомого опору ґрунту і типів фундаменту доцільно застосування тих чи інших конструктивних виконань заземлювальних пристроїв.

У випадках, коли провідність нижніх шарів ґрунту значно нижча за верхні, а

також у разі використання пальових фундаментів рекомендується встановлення вертикальних електродів. Вони добре відводять імпульсні струми грозових розрядів. Глибинні заземлювачі займають невелику площу і за рахунок великої глибини забезпечують малу величину опору розтіканню струму. Під час проектування глибинних заземлювачів важливо правильно вибрати розрахункове значення питомого опору ґрунту з урахуванням його неоднорідності, а також визначити оптимальну довжину одиничного електрода.

Коли провідність поверхневих шарів ґрунту досить висока, можна застосовувати горизонтальні протяжні заземлювачі. Також це рішення застосовується в кам'янистих і скельних ґрунтах, коли неможливо заглибити вертикальні заземлювачі. На ділянках з дуже високим питомим опором ґрунту може бути ефективним застосування безперервних горизонтальних електродів, що з'єднують кілька опор (так звані противаги).

Для опор ліній заввишки понад 35-40 м, що здебільшого стосується ліній 110-220 кВ, на ділянках, захищених тросами, опір розтікання струму заземлювальних пристроїв опор має бути у 2 рази меншим порівняно зі значеннями, наведеними вище. Ця рекомендація зумовлена тим, що високі опори баштового типу із серії уніфікованих мають за конструкцією недостатню грозотривкість, і надійна робота ліній електропередачі, виконаних на таких опорах, залежить від величини опору розтікання струму: що менші значення опору розтікання струму, то менше грозових вимкнень ліній.

Для забезпечення на лініях електропередачі необхідних ПУЕ величин опору розтікання струму блискавки сучасна практика рекомендує наступне:

1. При ґрунтах з питомим опором використовувати природні заземлювачі опор - залізобетонні фундаменти, підніжники, анкерні плити в поєднанні в разі потреби з нескладними штучними заземлювачами.

Оскільки стікання імпульсних струмів і струмів промислової частоти із залізобетонних конструкцій слідує відомим для звичайних заземлювачів закономірностям, що дає змогу застосовувати для розрахунку опору розтікання

їхнього струму загальноприйняті формули.

Загальний опір розтікання струму грибоподібного залізобетонного підніжника розраховується за такою формулою:

$$R = \frac{\frac{p}{2\pi l} \ln \frac{2l}{A} \frac{p}{8h}}{\frac{p}{2\pi l} \ln \frac{2l}{A} + \frac{p}{8h}} \cdot \frac{1}{\mu},$$

де $\mu=0,9$ - коефіцієнт використання; h - радіус підніжника грибка, см; l - довжина стрижня підніжника, см; A - середня геометрична відстань від першого стрижня до всіх інших:

$$A = \sqrt[n]{aA_2A_3A_4}, \text{ см}$$

де a - радіус стрижня, м; n - кількість стрижнів; p - питомий опір ґрунту, Ом — см.

2. У разі ґрунтів з питомим опором $p > 3 \times 10^{-4}$ Ом-см рекомендується застосовувати систему променевих заземлювачів раціональної довжини, що забезпечують необхідну ПУЕ величину опору розтікання струму 30 Ом. На територіях промислових підприємств застосування променевих заземлювачів не завжди здійсненне.

У цих випадках заземлювальні пристрої опор рекомендується виконувати у вигляді контурів, що складаються з вертикальних електродів, пов'язаних сталевією смугою.

3. У ґрунтах із питомим опором понад $p = 7 \cdot 10^{-4}$ Ом-см доцільне застосування безперервних горизонтальних заземлювачів - противаг, які прокладають уздовж траси і з'єднують опори заземлювача. Така система забезпечує достатній рівень грозотривкості ліній електропередачі, і нормальну роботу релейного захисту при однополюсних замиканнях на землю.

На кабельних лініях відповідно до вимог ПУЕ мають бути заземлені кінцеві

муфти шляхом приєднання їхніх корпусів до заземлювального пристрою РУ підстанцій. Під час переходу кабельної лінії в повітряну кабельні кінцеві муфти, що встановлюються на опорі, повинні приєднуватися до заземлювального контуру опори.

У тих випадках, коли кінцева опора не має контуру заземлення, допускається заземлювати кабельну муфту на металеву оболонку кабелю, якщо кабельна муфта на іншому кінці кабелю приєднана до заземлювального пристрою РУ або опір розтікання струму кабельної оболонки не перевищує 10 Ом.

Кабельні з'єднувальні та стопорні муфти, розташовані в колодязях і камерах блокової каналізації, тунелях і колекторах, мають бути заземлені. Для цієї мети в блоках або каналах від одного РУ до іншого прокладається заземлювальна смуга, приєднана з двох кінців до заземлювальних пристроїв РУ.

У випадках, коли кабельні колодязі передбачено на трасах кабельних ліній із траншейним прокладанням (під час перетинів залізничних колій, автомагістралей, водних перешкод тощо), у них також слід передбачати заземлювальний контур з опором розтікання струму до 10 Ом.

Величина імпульсних опорів заземлювальних пристроїв (ЗП) підстанцій та опор ліній електропередач є важливим фактором, що впливає на надійність захисту електроустановок. Під локальним імпульсним опором заземлення розуміється розраховувана величина, що дорівнює відношенню миттєвих значень імпульсної напруги на заземлювачі та імпульсного струму через нього.

Імпульсний опір визначається за час, що не перевищує перших одиниць мікросекунд, коли розтікання відбувається лише з ближньої зони заземлювального пристрою апарата і не охоплює всі заземлюючі пристрої електроустановки.

Імпульсний опір заземлювача — величина комплексна, тому в схему заміщення ЗП входять також реактивні елементи. Оскільки під час імпульсних дій не існує такої загальноприйнятої характеристики заземлювальних пристроїв, як поняття стаціонарного опору R за низькочастотних впливів, то для визначення

імпульсних характеристик заземлювальних пристроїв необхідно мати криві струму і напруги на ЗП, які потім можуть оброблятися за допомогою різних алгоритмів.

Грозові відключення повітряних ліній (ПЛ) складають 10...30 відсотків від загальної кількості відключень. Їхня кількість суттєво залежить від опору заземлення опор повітряних ліній. Дослідження впливу зміни імпульсного опору заземлення опор ПЛ напругою 110 кВ і вище сприяє можливості підвищення надійності електропостачання споживачів та ефективності експлуатації електричних мереж.

Зі збільшенням імпульсного опору заземлення в 2 рази ймовірність появи небезпечних для ізоляції ПЛ атмосферних перенапруг для класу напруг 110—220 кВ зростає в 1,5...1,65 рази, а для класу напруг 330—750 кВ зростає істотніше.

4.1. Послідовність розрахунку

1. Визначається розрахунковий струм замикання на землю I_z , А і допустимий опір розтікання струму в заземлювальному пристрої R_d , Ом згідно з ПУЕ залежно від напруги, режиму нейтралі, потужності електроустановок.

2. Визначається розрахунковий питомий опір ґрунту залежно від коефіцієнта сезонності для відповідної кліматичної зони:

$$r_{\text{розр.}} = r_{\text{табл.}} \cdot K_c, \quad (10.1)$$

де $r_{\text{табл.}}$ – приблизне табличне значення питомого опору ґрунту, яке рекомендується для розрахунку, табл. 10.1;

K_c – коефіцієнт сезонності, табл. 10.2.

3. Визначається H – відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача (рис. 10.1):

$H = H_0 + l/2$, де l – довжина заземлювача, м.; H_0 – глибина закладення

заземлювача, м.

4. Визначається опір розтікання струму в одному вертикальному заземлювачі, Ом:

$$R_B = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4H+l}{4H-l} \right), \quad (10.2)$$

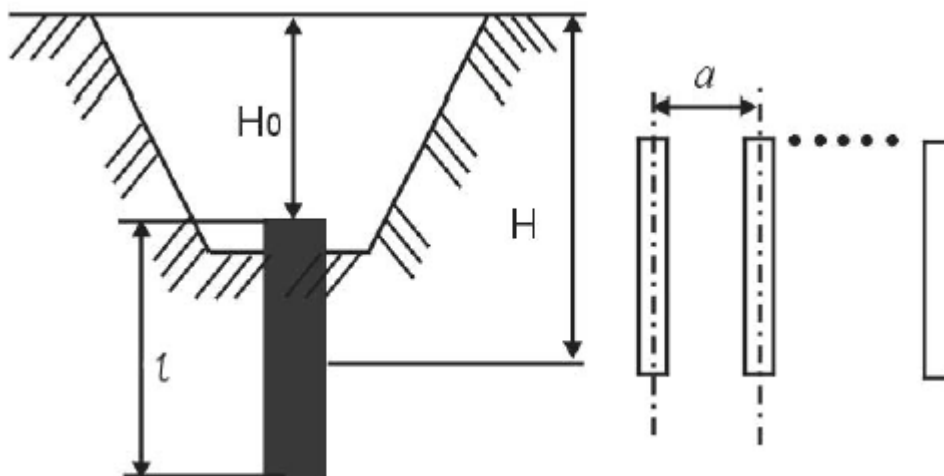


Рисунок 10.1 – Схема розміщення заземлювача в ґрунті

5. Визначається орієнтована кількість $n_{\text{ор.}}$ вертикальних заземлювачів за формулою:

$$n_{\text{ор.}} = \frac{R_B}{R_D \cdot \eta_B}, \quad (10.3)$$

де η_B – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів,

при $\eta_B = 1$, $n_{\text{ор.}} = \frac{R_B}{R_D}$.

Таблиця 4.1 – Приблизні значення питомих електричних опорів різних ґрунтів та води, Ом*м.

Ґрунт, вода	Можливі межі коливань, ρ	При вологості 10-20% до маси ґрунту	Рекомендоване значення для приблизних розрахунків
Глина	8–70	40	40
Суглинок	40–150	100	100
Чернозем	9–530	200	200
Торф	10–30	20	20
Садова земля	30–60	40	40
Супісок	150–400	300	300
Пісок	400–700	700	700
Кам'янистий	500–800	–	–
Скелястий	10^4 – 10^7	–	–
Вода:			
морська	0,2–1,0	–	1,0
річкова	10–100	–	80
водоймищ	40–50	–	50
струмкова	10–60	–	60
ґрунтова	20–70	–	50

6. Знаючи орієнтовну кількість вертикальних заземлювачів $n_{ор}$, їх розташування (у ряд чи по контуру) і відношення відстані між заземлювачами до їх довжини a/l , визначають за табл. 4.3 або 4.4 коефіцієнт використання η_v вертикальних заземлювачів.

Таблиця 4.2 – Коефіцієнт сезонності $K_{с.в.}$ для однорідної землі при вимірюванні її опору

Кліматична зона	Вологість землі при вимірюванні		
	підвищена	Нормальна	Мала
К с.в. для електрода довжиною $L_B = 3$ м			
I	1,9	1,7	1,5
II	1,7	1,5	1,3
III	1,5	1,3	1,2
IV	1,3	1,1	1,0
К с.в. для електрода довжиною $L_B = 5$ м			
I	1,5	1,4	1,3
II	1,4	1,3	1,2
III	1,3	1,2	1,1
IV	1,2	1,1	1,0

7. Визначається необхідна кількість n_v вертикальних заземлювачів з

урахуванням коефіцієнта використання з формули:

$$n_B = \frac{R_B}{R_D \cdot \eta_B} = \frac{n_{OP}}{\eta_B}. \quad (4.4)$$

Таблиця 4.3 – Значення коефіцієнта використання вертикальних заземлювачів h_B , розташованих у ряду

Відношення відстані між електродами до їх довжини a/l	Кількість заземлювачів n									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,86	0,81	0,77	0,74	0,72	0,70	0,67	0,65	0,62	0,60
2	0,95	0,92	0,89	0,86	0,84	0,82	0,79	0,77	0,75	0,73
3	0,97	0,94	0,92	0,90	0,88	0,87	0,85	0,83	0,82	0,81

Таблиця 4.4 – Значення коефіцієнта використання вертикальних заземлювачів h_B , розташованих по контуру

Відношення відстані між електродами до їх довжини a/l	Кількість заземлювачів n							
	4	8	12	16	20	40	60	100
1	0,66	0,56	0,50	0,47	0,44	0,41	0,39	0,36
2	0,76	0,68	0,65	0,63	0,61	0,58	0,55	0,52
3	0,84	0,77	0,73	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62

8. Визначається $R_{розр.в.}$ – розрахунковий опір розтікання струму у вертикальних заземлювачах при n_B без врахування з'єднувальної смужки.

Приймаємо, що всі вертикальні заземлювачі з'єднані паралельно.

$$R_{розр.в.} = \frac{R_B}{n_B \cdot \eta_B}. \quad (4.5)$$

9. Визначається довжина з'єднувальної смужки L_c за формулою:

$$L_c = 1,05 \cdot a(n_B - 1). \quad (4.6)$$

10. Визначається опір розтікання струму в горизонтальному заземлювачі (з'єднувальній смужці), R_{Γ} :

$$R_{\Gamma} = 0,366 \frac{\rho_{\text{розр}}}{L_c} \ln \frac{2Lc^2}{H_0 \cdot B_c}, \quad (4.7)$$

де B_c – ширина смужки.

11. Визначаємо η_{Γ} – коефіцієнт використання горизонтального заземлювача при розташуванні вертикальних заземлювачів відповідно до вихід-них даних (в ряд, або по контуру) з табл. 4.5 або 4.6.

Таблиця 4.5 – Значення коефіцієнта використання горизонтального стрічкового електрода h_{Γ} , що з'єднує вертикальні заземлювачі, розташовані у ряд

a/l	Кількість заземлювачів n									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,84	0,76	0,71	0,67	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,55
2	0,90	0,85	0,81	0,79	0,77	0,75	0,74	0,73	0,72	0,71
3	0,93	0,90	0,87	0,85	0,83	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78

Таблиця 4.6 – Значення коефіцієнта використання горизонтального стрічкового електрода h_{Γ} , що з'єднує вертикальні заземлювачі, розташовані по контуру

a/l	Кількість заземлювачів n									
	4	6	8	10	12	16	20	40	60	100
1	0,45	0,40	0,36	0,34	0,32	0,30	0,27	0,22	0,20	0,19
2	0,55	0,48	0,43	0,40	0,38	0,35	0,32	0,29	0,27	0,23
3	0,70	0,64	0,60	0,56	0,54	0,50	0,45	0,39	0,36	0,33

12. Визначаємо $R_{\text{розр.}\Gamma}$ – розрахунковий опір розтікання струму в горизонтальному заземлювачі (з'єднувальній смужці) з урахуванням η_{Γ} :

$$R_{\text{розр.}\Gamma} = R_{\Gamma} / \eta_{\Gamma}. \quad (4.8)$$

13. Визначається $R_{\text{розр}}$ – розрахунковий опір розтікання струму у вертикальних та горизонтальних заземлювачах, якій має бути не більше $R_{\text{д}}$:

$$R_{\text{розр}} = \frac{R_{\text{розр.в}} \cdot R_{\text{розр.г}}}{R_{\text{розр.в}} + R_{\text{розр.г}}} \leq R_{\text{д}}. \quad (4.9)$$

14. Обирається матеріал та переріз з'єднувальних проводів і магістральної шини.

4.2. Розрахунок штучного заземлювального пристрою для ПС-110/35/10кВ

Для забезпечення електробезпеки ПС-110/35/10кВ передбачається влаштування загального заземлюючого пристрою.

Заземлюючий пристрій виконується з вертикальних заземлюючих електродів – круг сталевий довжиною $L=3\text{м}$, діаметром $d=18\text{мм}$ та горизонтального заземлювача - штаби сталевий перерізом $40 \times 4\text{мм}$ прокладеної на глибині $0,5\text{м}$.

Розрахунок заземлюючого пристрою.

Ґрунти в місці розташування заземлюючого пристрою:

- верхні шари: суглинок, питомий опір $\rho=150 \text{ Ом}\cdot\text{м}$;

поправочний коефіцієнт 2;

з врахуванням поправочного коефіцієнту $\rho_{\text{вш}}=150 \cdot 2=300 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

- глибинні шари: суглинок, питомий опір $\rho=150 \text{ Ом}\cdot\text{м}$;

поправочний коефіцієнт 1,4;

з врахуванням поправочного коефіцієнту $\rho_{\text{гш}}=150 \cdot 1,4=210 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Нормоване значення опору заземлюючого пристрою ПС-110/35/10кВ становить $R_{\text{н}}=4 \text{ Ом}$.

Опір горизонтального заземлювача:

Визначаємо опір розтікання горизонтального заземлювача:

$$R_{\text{Г1}} = \frac{\rho_{\text{вш}}}{2\pi L_{\text{Г}}} \cdot \ln \frac{L_{\text{Г}}^2}{b_{\text{Г}} \cdot h},$$

де: $\rho_{\text{ВШ}}=300 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ – питомий опір верхніх шарів ґрунту;
 $b_{\Gamma}=0,04 \text{ м}$ - ширина смуги горизонтального заземлювача;
 $h=0,5 \text{ м}$ – глибина закладання горизонтального заземлювача;
 $L_{\Gamma}=292 \text{ м}$ – загальна довжина горизонтального заземлювача;

$$R_{\Gamma 1} = \frac{\rho_{\text{ВШ}}}{2\pi L_{\Gamma}} \times \ln \frac{L_{\Gamma}^2}{b_{\Gamma} \cdot h} = \frac{300}{2 \cdot 3,14 \cdot 292} \cdot \ln \frac{292^2}{0,04 \cdot 0,5} = 2,44 \text{ Ом.}$$

Опір горизонтального заземлювача з врахуванням впливу вертикальних стержнів:

$$R_{\Gamma} = \frac{R_{\Gamma 1}}{K_{\text{ВГ}}},$$

де: $R_{\Gamma 1}=2,44 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ – опір розтікання горизонтального заземлювача;
 $K_{\text{ВГ}}=0,25$ – коефіцієнт використання горизонтального заземлювача з'єднаного в замкнутий контур;

$$R_{\Gamma} = \frac{R_{\Gamma 1}}{K_{\text{ВГ}}} = \frac{2,44}{0,25} = 9,76 \text{ Ом.}$$

Опір вертикального заземлювача:

Визначаємо опір одиничного вертикального заземлювача:

$$t = h + L_{\text{В}}/2,$$

$$R_{\text{В1}} = \frac{\rho_{\text{ГШ}}}{2 \cdot \pi \cdot L_{\text{В}}} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot L_{\text{В}}}{d_{\text{В}}} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot t + L_{\text{В}}}{4 \cdot t - L_{\text{В}}} \right),$$

де: t – глибина закладання вертикального стержня;
 $\rho_{\text{ГШ}}=210 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ – питомий опір глибинних шарів ґрунту;
 $L_{\text{В}}=3 \text{ м}$ – довжина одного вертикального заземлювача;
 $d_{\text{В}}=0,018 \text{ м}$ – діаметр вертикального заземлювача;

$$t = h + L_{\text{В}}/2 = 0,5 + 3/2 = 2 \text{ м};$$

$$R_{\text{В1}} = \frac{\rho_{\text{ГШ}}}{2 \cdot \pi \cdot L_{\text{В}}} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot L_{\text{В}}}{d_{\text{В}}} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot t + L_{\text{В}}}{4 \cdot t - L_{\text{В}}} \right) = \frac{210}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0,018} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 2 + 3}{4 \cdot 2 - 3} \right) = 68,95 \text{ Ом.}$$

Визначаємо загальний опір вертикальних стержнів:

$$R_B = \left(\frac{R_{B1}}{N \cdot K_{BB}} \right),$$

де: $R_{B1} = 69,95$ Ом – опір одного вертикального заземлювача;

$N = 24$ – кількість вертикальних електродів;

$K_{BB} = 0,48$ - коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів розташованих по контуру;

$$R_B = \left(\frac{R_{B1}}{N \cdot K_{BB}} \right) = \left(\frac{69,95}{24 \cdot 0,48} \right) = 5,98 \text{ Ом.}$$

Визначаємо сумарний опір заземлювального пристрою:

$$R_{3\Pi} = \frac{R_{\Gamma} \cdot R_B}{R_{\Gamma} + R_B}$$

де: $R_{\Gamma} = 9,76$ Ом – опір горизонтального заземлювача;

$R_B = 5,98$ Ом – опір вертикального заземлювача.

$$R_{3\Pi} = \frac{R_{\Gamma} \cdot R_B}{R_{\Gamma} + R_B} = \frac{9,76 \cdot 5,98}{9,76 + 5,98} = 3,71 \text{ Ом}$$

Порівнюємо отримане розрахункове значення опору $R_{3\Pi}$ з необхідним нормованим R_H :

$$R_{3\Pi} = 3,71 \text{ Ом} \leq R_H = 4 \text{ Ом};$$

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі бакалаврської роботи розробляються заходи з охорони праці під час влаштування системи заземлення на п/ст 110/35/10 кВ. Відповідно, на будівельно-монтажний персонал, що здійснює монтаж обладнання п/ст, впливають такі шкідливі виробничі фактори [1, 2]: фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо); хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил); фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць із застосуванням автомобілів, вантажопідіймальних машин, механізмів та драбин

Під час виконання робіт в електроустановках з використанням вантажопідіймальних машин і механізмів [3] необхідно враховувати вимоги "Правил будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів". У разі призначення працівника, відповідального за безпечне виконання робіт з переміщення вантажів кранами, слід зробити запис в рядку "Окремі вказівки" наряду.

Водії та машиністи, які входять до штату енергетичних підприємств і працюють в діючих електроустановках, повинні мати групу II. Кранівники

сторонніх організацій допускаються до роботи згідно з вимогами ДНАОП 0.00-1.03 "Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів". Рух вантажопідіймальних машин і механізмів в охоронній зоні ПЛ, а по ВРУ - також і автомобілів допускається під наглядом одного з працівників, зазначених в пункті 20.1 цих Правил, або керівника чи спеціаліста з групою V. По ВРУ рух вантажопідіймальних машин, механізмів і автомобілів допускається також під наглядом чергового або допускача з групою IV зі складу оперативно-виробничих працівників.

Під час проїзду по ВРУ і під ПЛ підіймальні та висувні частини вантажопідіймальних машин і механізмів повинні перебувати в транспортному положенні. Допускається в межах робочого місця переміщення вантажопідіймальних машин та механізмів по рівній місцевості з піднятим робочим органом без вантажу та людей на підіймальній або висувній частині, якщо таке переміщення дозволяється заводською інструкцією і при цьому не потрібно проїжджати під невимкненими шинами або проводами ПЛ. На ВРУ швидкість руху визначається за місцевими умовами, але не повинна перевищувати 10 км/год. Під ПЛ автомобілі, вантажопідіймальні машини та механізми повинні проїжджати в місцях найменшого провисання проводів (біля опор).

Установка і робота стрілових вантажопідіймальних машин та механізмів для піднімання вантажів або людей безпосередньо під проводами ПЛ, що перебувають під напругою, забороняється. Встановлювати вантажопідіймальну машину (механізм) на виносні опори та переводити її робочий орган з транспортного положення в робоче повинен машиніст, який нею керує. Забороняється залучати для цього інших працівників. Під час проїзду, встановлення та роботи автомобілів, вантажопідіймальних машин і механізмів відстані від підіймальних та висувних частин, стропів, вантажозахватних пристосувань, вантажів при будь-якому положенні до струмовідних частин, що перебувають під напругою, не повинні бути менші за зазначені в правилах.

Перед початком роботи телескопічних вишок та гідропідйомників необхідно перевірити в дії висувну та підймальну частини, а у телескопічних вишок, крім того, підймальну частину слід встановити вертикально і зафіксувати в такому положенні. Перевірку слід здійснювати у безпечному місці якнайдалі від струмовідних частин, що перебувають під напругою.

Забороняється під час виконання робіт на кутових опорах, у разі замінювання ізоляторів, проводів або ремонту арматури встановлювати телескопічну вишку (гідропідйомник) всередині кута, утвореного проводами. Під час виконання всіх робіт у ВРУ та в охоронній зоні ПЛ автомобілі, вантажопідймальні машини і механізми на пневмоколісному ході необхідно заземлювати. Забороняється доторкатись до корпусу автомобіля (вантажопідймальної машини, механізму) і проводити будь-які переміщення їхніх робочих органів, вантажозахватних пристосувань і опорних деталей до встановлення заземлення. У разі, коли ПЛ вимкнена та заземлена на робочому місці і не перебуває під наведеною напругою, не вимагається заземляти автомобілі, вантажопідймальні машини та механізми на пневмоколісному ході, встановлені на відстані понад 30 м від найближчих проводів інших ПЛ, що перебувають під напругою. Вантажопідймальні машини і механізми на гусеничному ході у разі встановлення безпосередньо на ґрунті заземлювати не вимагається.

Під час роботи вантажопідймальних машин та механізмів забороняється перебування людей під вантажем, що піднімається, корзиною телескопічної вишки (гідропідйомника), а також у безпосередній близькості (ближче ніж за 5 м) від проводів (тросів), що натягуються, упорів, кріплень і механізмів, що працюють. Під час проведення робіт з телескопічної вишки (гідропідйомника) повинен бути візуальний зв'язок між членом бригади, який перебуває в корзині (колисці), і водієм. У разі відсутності такого зв'язку біля вишки повинен перебувати член бригади, який передає водію команду піднімати або спускати корзину (колиску). Працювати з телескопічної вишки (гідропідйомника) слід,

стоячи на дні корзини (колиски), закріпившись стропом запобіжного пояса. Перехід з корзини (колиски) на опору або обладнання і назад допускається тільки з дозволу керівника робіт. Під час перебування працівників, які виконують роботу у корзині (колисці) телескопічної вишки (гідропідйомника), машиніст не повинен залишати пульт керування.

У разі зіткнення стріли крана або корзини (колиски) підйимального механізму із струмовідними частинами, що перебувають під напругою, машиніст повинен вжити заходів щодо швидкого розриву контакту, що виник, і відвести рухому частину механізму від струмовідних частин на відстань, не меншу за зазначену в цих Правилах. Забороняється спускатись з механізму (машини) на землю або підніматись на нього, а також доторкатись до нього, стоячи на землі, якщо механізм перебуває під напругою. Машиніст зобов'язаний попередити працівників, які його оточують, про те, що механізм перебуває під напругою. У разі загоряння автомобіля, вантажопідйимальної машини або механізму, що перебувають під напругою, водій (машиніст) повинен зіскочити на землю, з'єднавши ноги, і, водночас, не доторкаючись руками до машини, віддалитися від неї на відстань не менше 8 м, пересуваючи ступні по землі і не відриваючи їх одну від одної.

Забороняється використовувати переносні металеві, а також дерев'яні та пластмасові драбини з дротом жорсткості уздовж тятив драбини в РУ 220 кВ і нижче.

У ВРУ 330 кВ і вище використовувати переносні металеві драбини дозволяється за таких умов:

- драбину слід переносити в горизонтальному положенні під безперервним наглядом керівника робіт, чергового або працівника з групою IV зі складу оперативно-виробничих працівників;
- для знімання наведеного потенціалу з переносної драбини до неї необхідно приєднати металевий ланцюг, який торкається землі;
- у разі встановлення драбини не дозволяється її наближення до

струмовідних незаземлених частин на відстань, меншу за зазначену в правилах.

Під час виконання робіт, коли неможливо закріпити строп запобіжного пояса за конструкцію, опору тощо, слід користуватися страхувальним канатом, попередньо заведеним за конструкцію або деталь опори. Виконувати цю роботу повинні два працівники, один з яких повинен у разі потреби повільно відпускати або натягувати страхувальний канат.

Настили риштувань, помостів, кошиків необхідно огородити, якщо їх висота над поверхнею ґрунту або перекриттям перевищує 1,3 м. Висота огороження не повинна бути нижче 1 м для риштувань та помостів і нижче 1,2 м - для кошиків. У разі неможливості або недоцільності влаштування настилів і огорожень, а також під час виконання робіт на обладнанні у кожному окремому випадку заходи безпеки визначаються технологічною картою, ППР або іншими документами. Електро- та газозварники повинні застосовувати запобіжний пояс із стропом з металевого ланцюга. Якщо робоче місце та підходи до нього розташовані над неогороженими струмовідними частинами, що перебувають під напругою, а відстань від металевого ланцюга у разі його опускання буде менша за зазначену в цих Правилах, то роботу слід виконувати з вимкненням цих струмовідних частин.

Під час виконання робіт на тих конструкціях, під якими розташовані струмовідні частини, що перебувають під напругою, ремонтні пристосування та інструмент для запобігання їх падінню необхідно прив'язувати. Подавати деталі на конструкції або обладнання слід за допомогою нескінченного каната, вірьовки або шнура. Працівник, який стоїть внизу, повинен утримувати канат для запобігання його розгойдуванню та наближенню до струмовідних частин.

Працівники, які працюють на порталах, конструкціях, опорах, повинні бути в одязі, що не заважає рухам. Особистий інструмент повинен бути в сумці. Виконувати роботи на освітлювальній арматурі під стелею машинних залів та котелень з візка мостового крана повинні не менше двох працівників зі складу оперативних працівників або, за нарядом, - виробничих працівників. Один з працівників повинен постійно перебувати поблизу того, хто працює, і слідкувати,

щоб він дотримувався необхідних заходів безпеки. Забороняється улаштування тимчасових помостів, драбин тощо на візку крана. Працювати слід безпосередньо з настилу візка або з встановленого на ньому стаціонарного помосту. Перед підніманням на візок з його тролейних проводів необхідно зняти напругу. Під час виконання робіт слід користуватися запобіжним поясом. Пересувати міст або візок крана кранівник може тільки за командою керівника робіт. Під час пересування мостового крана працівники повинні розміщуватись в кабіні або на настилі мосту. Забороняється пересування помосту і візка, коли люди перебувають на візку.

5.1.2 Електробезпека

Основні технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

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

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

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

вимикальних комутаційних апаратів;

- огородити, у разі необхідності, робочі місця або струмопровідні частини, що залишились під напругою, і вивісити на огороженнях плакати безпеки. Залежно від місцевих умов струмопровідні частини огорожують до або після їх заземлення.

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

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

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

діелектричне взуття без застосування основних засобів захисту.

5.2. Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1. Мікроклімат

Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт). Параметри мікроклімату в виробничому приміщенні, де встановлена лінія, наведено в таблиці 1.

Таблиця 5.1 – Нормування параметрів мікроклімату на постійних робочих місцях

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м/с
Теплий	ІІб	16-27	70 при 25°C	0,2-0,5
Холодний	ІІб	15-21	не більш 75	не більш 0,4

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці технологічного персоналу передбачається:

- в холодну пору року використання калорифера;
- в літню пору застосування вентиляторів обдуву;
- провітрювання приміщення.

5.2.2. 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 цемент, який використовується на будівництві Дністровської ГЕС, їх ГДК наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0.5	0.15	4
Цемент	6		4

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено:

- провітрювання приміщення;
- цілісність вікон для перешкоджання попадання пилу в приміщення під час роботи лінії;
- встановлення пиловловлюючих засобів.

5.2.3. Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт під час експлуатації електрообладнання – малої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «г» (таблиця 5.3).

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Х-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Х-ка фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						сього	у т. ч. від загального		
Малої точності	Від 1,0 до 5 включно	V	б	малий	середній		200	3	1,8

При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної

мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

5.2.4. 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» (таблиця 4).

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».

Таблиця 5.4 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	2	3	25	50	100	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	07	5	7	2	8	75	73	71	69

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

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

5.3. Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують ССБТ

«Пожежна безпека. Загальні вимоги». Типові правила пожежної безпеки для промислових підприємств і інструкції на окремих об'єктах.

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

До III ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриттів дозволяється застосовувати дерев'яні конструкції, захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними матеріалами, або матеріалами груп горючості Г1 (низької горючості), Г2 (помірної горючості). До елементів покриттів не висуваються вимоги щодо межі вогнестійкості, поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку. 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 5.5.

Таблиця 5.5 – 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 площадки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між по-верхові (у т.ч. горищні та над підвалами	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки				пли-и, насти-ли, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормуються	

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2002 наведено в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

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

Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих,

складських будинків і споруд слід приймати за таблицею 7 (знаменник).

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	IV, V
III	8/9	8/12	10/15

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

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

На території п/ст встановлено 12 вогнегасників ВП-5.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи на тему «Розробка та вдосконалення системи заземлення для підстанцій 110/35/10 кВ» було досягнуто поставленої мети та вирішено основні завдання дослідження. Проведено аналіз існуючих рішень у сфері заземлення електричних підстанцій, виявлено їхні переваги та недоліки, визначено ключові фактори, що впливають на ефективність заземлювальної системи.

1. Встановлено, що конструкція заземлювального пристрою, тип ґрунту, його вологість та питомий опір є визначальними чинниками при проектуванні заземлення і безпосередньо впливають на рівень електробезпеки.
2. Виконано техніко-економічне порівняння різних схем заземлення, розраховано опір розтікання для варіантів заземлювачів відповідно до нормативних вимог. Встановлено, що комбіновані заземлювачі з оптимальним геометричним розміщенням забезпечують найкращі показники.
3. Запропоновано вдосконалену схему системи заземлення для підстанції 110/35/10 кВ, яка забезпечує зменшення опору до нормативних значень та підвищує надійність захисту персоналу і обладнання.
4. Надано рекомендації щодо практичного впровадження розроблених технічних рішень, з урахуванням умов експлуатації, особливостей ґрунтів та вимог нормативних документів.

Результати дослідження можуть бути використані при проектуванні, реконструкції та технічному обґрунтуванні систем заземлення для енергетичних об'єктів середнього класу напруги.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила улаштування електроустановок. Розділ 1. Загальні правила. Глава 1.7. Заземлення і захисні заходи електробезпеки. – К.: ОЕП ГРІФРЕ, 2006. – 66 с.
2. Перхач В.С. Теоретична електротехніка: Лінійні кола /Підручник. - К.: Вища шк., 1992. - 439 с.
3. Правила улаштування електроустановок. Розділ 2. Передавання електроенергії. Глава 2.4 Повітряні лінії електропередавання напругою до 1 кВ. Глава 2.5 Повітряні лінії електропередавання напругою вище 1 кВ до 750 кВ. - К: ОЕП, ГРІФРЕ, 2006. – 190 с.
4. Сидоров В.С., Хохулін Б.К. Заземлення електричних мереж - К: Фірма «Віпол», 1997.- 137 с.
5. Букович Н.В. Розрахунок струмів короткого замикання електроенергетичних систем. - Львів: Вища шк., 1988. - 248 с.
6. Топольницький М.В. Атомні електричні станції: Підручник для ВУЗів. - Львів: Видавництво "Бескид Біт", 2005. - 524 с
7. ГНД 34.20.303-2003. Випробування та контроль стану заземлювальних пристроїв електроустановок. Типова інструкція. - К.: ОЕП ГРІФРЕ, 2004.- 96 с.
8. Правила улаштування електроустановок. – Х. : «Форт», 2017. – 760с.
9. Випробування та контроль пристроїв заземлення елект- роустановок. Типова інструкція. СОУ 31.2-21677681- 19:2009. – К.: Мінпаливенерго України, 2010. – 54с.
10. Seljeseth H., Campling A., Feist K.H., Kuussaari M. Station Earthing. Safety and interference aspects // Electra. – 1980. – vol.71. – pp. 47-69.
11. Boaventura W.C., Lopes I.J.S., Rocha P.S.A., Coutinho R.M., Castro F., Dart F.C. Testing and evaluating grounding systems of high voltage energized

substations: alternative approaches // IEEE Transactions on Power Delivery. – 1999. – vol.14. – no.3. – pp. 923- 927. doi: 10.1109/61.772335.

12. Tabatabaei N.M., Mortezaeei S.R. Design of grounding systems in substations by ETAP intelligent software // International Journal on «Technical and Physical Problems of Engineering». – 2010. – iss.2. – vol.2. – no.1. – pp. 45-49.

13. IEEE Std 81-2012 Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System. – New York: IEEE, 2012. – 86 p. doi: 10.1109/ieeestd.2012.6392181.

14. Лежнюк П. Д. Проектування електричної частини електричних станцій: навчальний посібник / П. Д. Лежнюк, В. М. Лагутін, В. В. Тептя. –

15. Кобилянський О. В. Охорона праці в дипломних проектах і роботах студентів електротехнічних спеціальностей: Методичні вказівки / О. В. Кобилянський, О. М. Терещенко. – Вінниця: ВНТУ, 2003. – 46 с.

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

17. 4. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

18. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

19. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

20. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

21. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

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

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

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

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

Показники звіту подібності

StrikePlagiarism	
Оригінальність	98
Загальна схожість	2

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

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

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

Автор _____
(підпис)

Маринич І. В.
(прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Робота допущена до захисту

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Вишневський С.Я

(прізвище, ініціали)

Експерт
(за потреби)

(підпис)

(прізвище, ініціали, посада)

Додаток Б

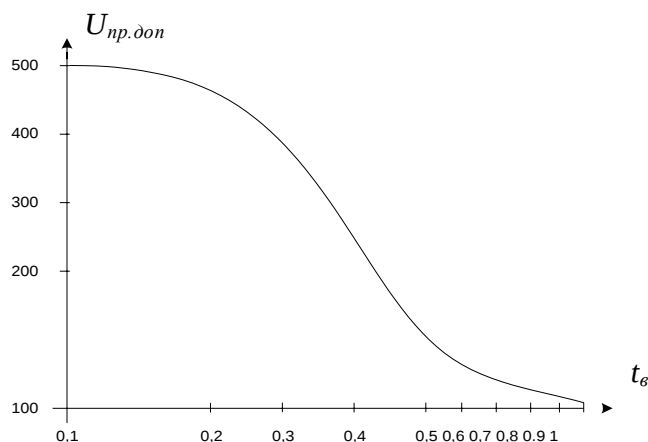
Допустиме значення напруги дотику

Напруга дотику для підстанцій і розподільчих пристроїв станцій напругою 110 - 750 кВ, виконаних по нормах на напругу дотику, в будь-яку пору року при однофазному короткому замиканні, не повинні перевищувати значень, приведених у таблиці А.1.

Таблиця А.1- Допустиме значення напруги дотику

Тривалість дії, t_ϵ , с	до 0,1	0,2	0,5	0,7	1,0	більше 1 і до 5
Допустима напруга дотику, $U_{np.доп.}$, В	500	400	200	130	100	65

Для проміжних значень t_ϵ в інтервалі від 0,1 до 1 секунди $U_{np.доп.}$ визначається по рис. А.1.

Рисунок А.1- Залежність $U_{np.доп.}$ від t_ϵ

Тривалість дії приймається рівною сумі часу захисту і повного часу відключення вимикача. При цьому при визначенні тривалості дії для робочих місць потрібно приймати час дії резервного захисту, а для решти місць можливого дотику – основного захисту.

Додаток В

Приведення параметрів електричної структури землі до розрахункових сезонних умов

Якщо вимірювання параметрів електричної структури землі проводиться не в розрахунковий сезон, отримані в результаті усереднювання основних допоміжних ВЗЕ данні, приводяться до розрахункових сезонних умов за допомогою сезонного коефіцієнта питомого опору землі k_B з глибини сезонних вимірювань h_c . Коефіцієнт k_c і глибина h_c залежать від кліматичної зони, в якій розташована проектувальна електроустановка. Кліматичні зони відповідають кліматичним районам і підрайонам по БНіП 2.01.01 -82 (Будівельна кліматологія і геофізика). Для районів, що в зимній період мають від'ємні температури, в якості сезонних змін приймається нормативна глибина сезонного промерзання грантів, яка визначається по БНіП 2.02.01-83 (Основа будинків і споруд) або по довідникових даних клімату. Для всіх інших районів глибина сезонних змін приймається рівною 0,5м.

Значення k_c і h_c можуть бути отримані шляхом спеціальних досліджень, виконаних у зоні розташування станцій і підстанцій. Для цього можна використовувати результати ВЗЕ, виконані в період найменших і найбільших значень питомого опору верхніх шарів землі. Тоді значення коефіцієнта можна визначити по максимальній і мінімальній величині питомого опору першого шару за формулою

$$k_c = \frac{\rho_{\max}}{\rho_{\min}}, \quad (\text{B.1})$$

Глибина h_c визначається шляхом порівняння потужності верхніх шарів землі.

При відсутності необхідних даних, k_c можна вибирати по таблиці В.1.

Приведення виміряних параметрів електричної структури землі до розрахункових сезонних умов виконуються по виразам приведенням на рис.В.1, де $\rho_1, \rho_2, \dots, h_1, h_2, \dots$ - питомі опори і потужності шарів землі; q_c - розрахунковий сезонний коефіцієнт питомого опору землі, залежний від періоду, в який виконувалися вимірювання, і сезону, для якого проводяться розрахунок ЗП електроустановки.

Таблиця В.1- Значення коефіцієнта k_c

Кліматична зона	Зволоженість ґрунту		
	Перезволожений	Зволожений	Малозволожений
	k_c	k_c	k_c
1	10,0	7,5	3,8
2	6,5	4,0	3,6
3	3,6	2,5	2,8
4	1,6	1,8	2,4

Значення коефіцієнта q_c приймається таким, який дорівнює:

- якщо вимірювання параметрів електричної структури землі проводилися в період, відповідний найменшим значенням питомого опору верхніх шарів землі, а розрахунковий сезон відповідає їх найбільшим значенням, то

$$q_c = k_c ; \quad (B.2)$$

- якщо вимірювання параметрів електричної структури землі проводилися в розрахунковий сезон, то

$$q_c = 1 ; \quad (B.3)$$

Вихідна структура землі

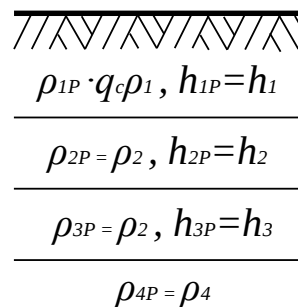
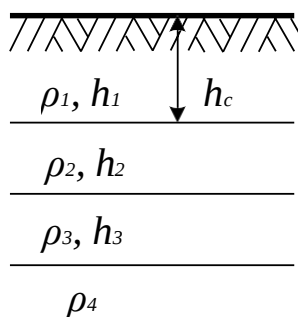
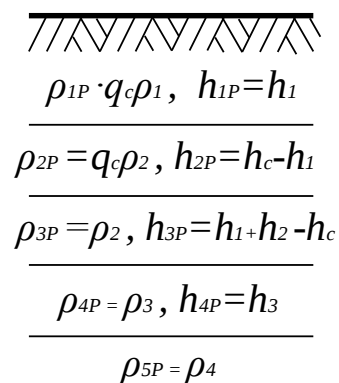
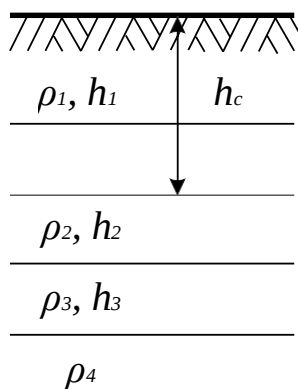
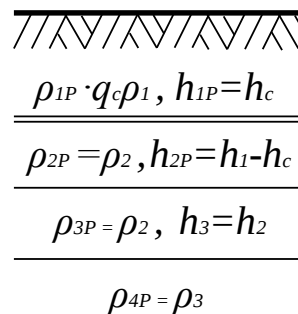
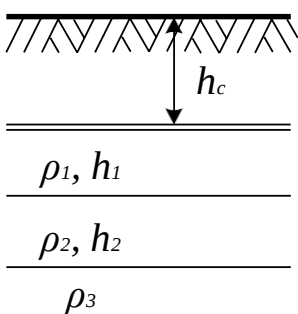
Розрахункова структура
земліа) при $h_1 = h_c$ б) при $h_1 < h_c$ в) при $h_1 > h_c$ 

Рисунок В.1 - Приведення вимірних параметрів електричної структури землі до розрахункових сезонних умов

Додаток Г

Визначення коефіцієнта, що визначає падіння напруги на опорі розтіканню струму з ніг людини

Коефіцієнт, що враховує падіння напруги на опорі розтіканню струму з ніг людини β , в загальному випадку залежить від опору тіла людини, що приймається рівним 1000 Ом, опорі розтіканню стоп ніг людини R_{cm} (Ом), товщини h_n (м) і питомого опору ρ_n (Ом·м) поверхневого шару землі і визначається по виразу

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 16h_n + R_{cm}} \quad (\text{Г.1})$$

Опір R_{cm} приймається рівним опору розтікання розташованої на поверхні землі пластини розмірами 0,25 x 0,25 м і визначається по програмах розрахунку ЗП при найменшому питомому опорі верхніх шарів землі. Товщина поверхневого шару приймається рівною 0,1-0,2м. При невідомому питомому опорі ρ_n його значення приймаються по таблиці Г.1.

Таблиця Г.1- Значення питомого опору поверхневого шару землі

Ґрунт на території підстанції або розподільчого пристрою станції	ρ_n (Ом·м)
Трав'яний покрив на глинистому ґрунті, глини, чорнозем, супіски, суглинки	250
Бетон, пісок, піщано-гравійна суміш	2000
Щебінь, метласна плитка	15000
Асфальт	100000

РОЗРОБКА ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЗАЗЕМЛЕННЯ ДЛЯ ПІДСТАНЦІЙ 110/35/10 КВ



Виконав: студент 4 курсу, групи ЕСМ-23мс
Спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

за ОП «Електроенергетика та електротехніка»,
Маринич І. В.

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

Мета і задачі дослідження

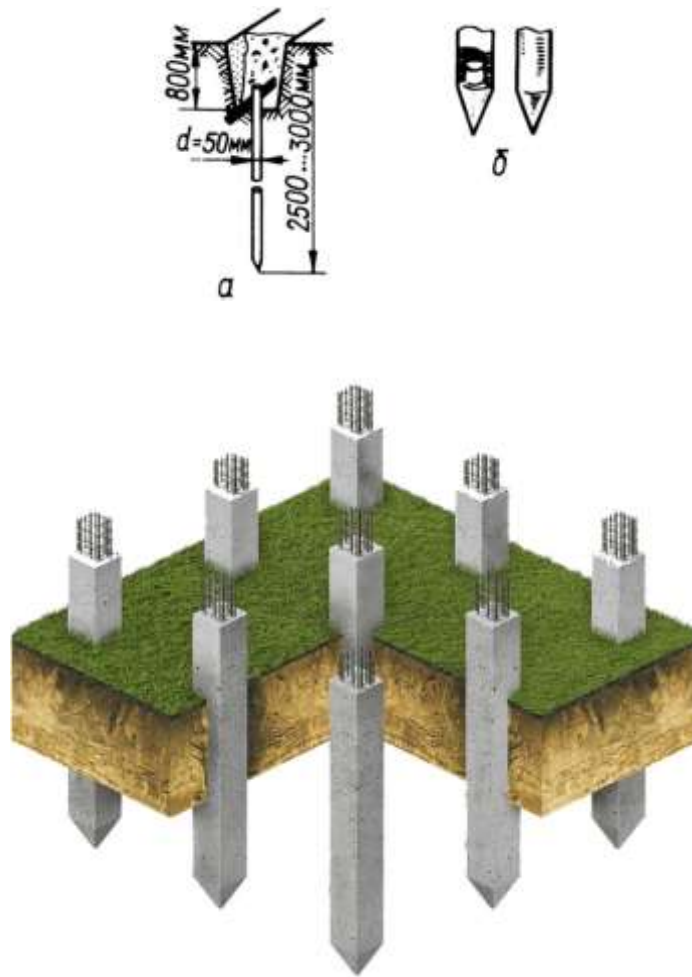
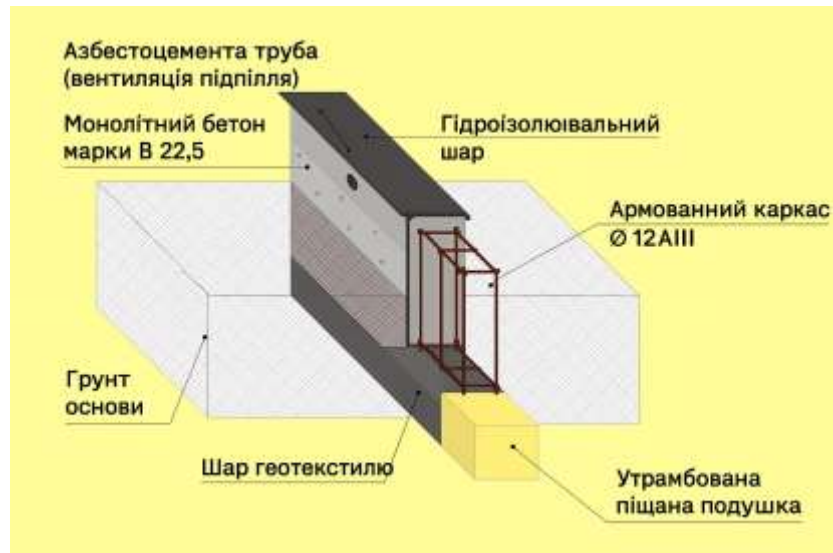
Метою роботи є розробка та обґрунтування рекомендацій щодо вдосконалення системи заземлення для підстанцій напругою 110/35/10 кВ з метою підвищення електробезпеки, зниження опору заземлювальних пристроїв і забезпечення надійної роботи обладнання під час експлуатації та аварійних режимів роботи.

► **Задачі дослідження:**

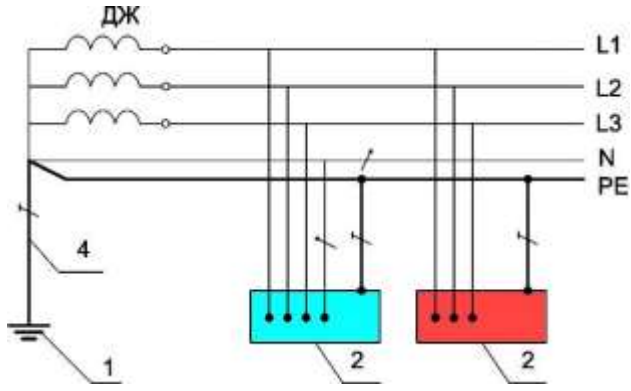
- Провести аналіз сучасного стану систем заземлення підстанцій напругою 110/35/10 кВ та визначити основні напрямки їх удосконалення.
- Дослідити вплив типів заземлювачів та ґрунтових умов на величину опору заземлення.
- Виконати розрахунки та моделювання різних схем заземлювальних пристроїв із використанням сучасних методик та спеціалізованого програмного забезпечення.
- Визначити оптимальні конструктивні рішення для забезпечення мінімального опору заземлення та високого рівня електробезпеки.
- Розробити практичні рекомендації щодо реалізації та експлуатації вдосконалених систем заземлення на підстанціях напругою 110/35/10 кВ.

►

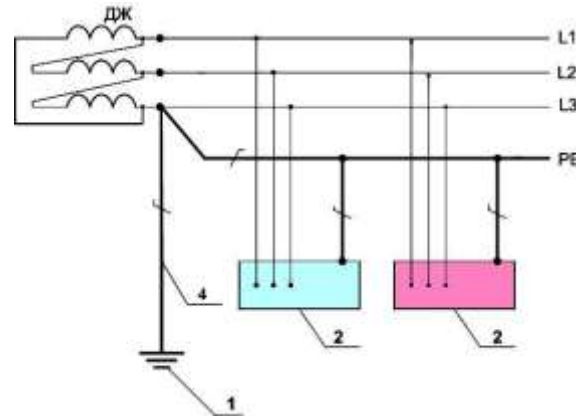
Види заземлювачів



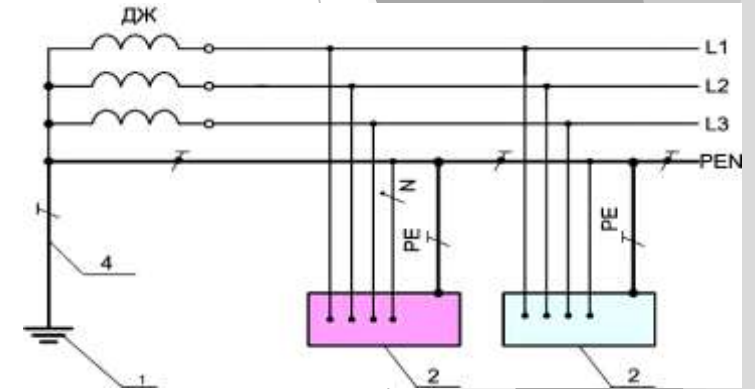
Варіанти реалізації систем заземлення



виконання системи TN-S (у джерела схема «зірки»)

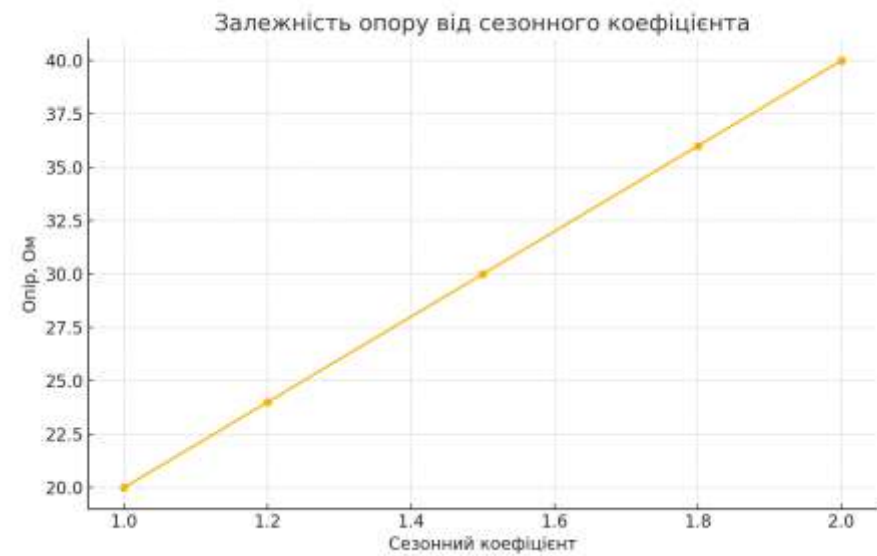
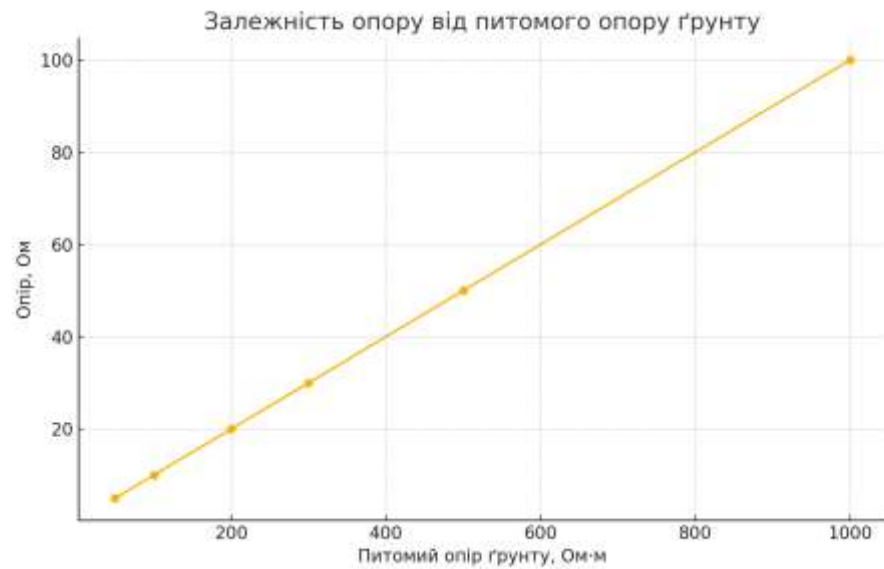
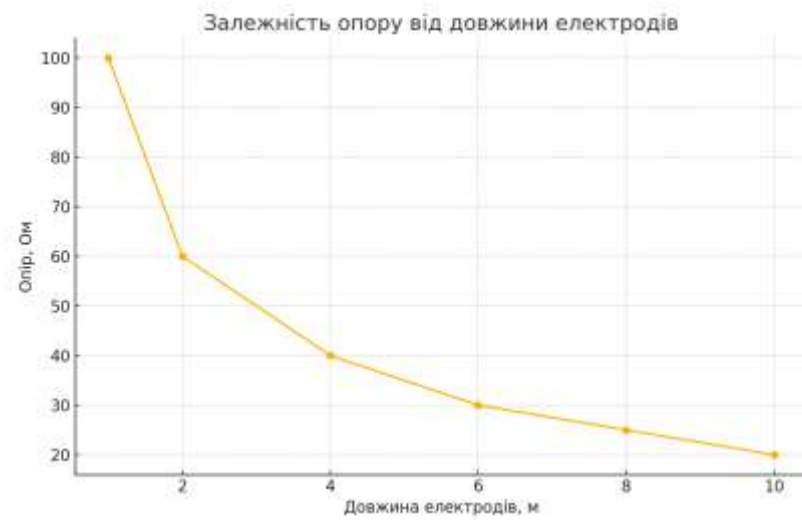


виконання системи TN-S (у джерела схема «трикутника»)

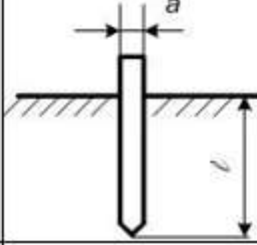
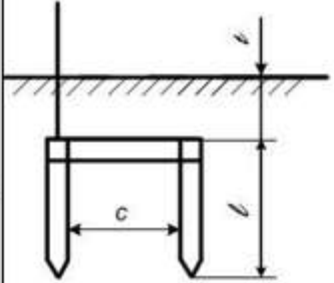
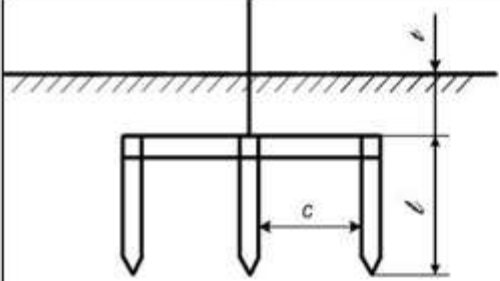


виконання систем TN-C (у джерела схема «зірки»)

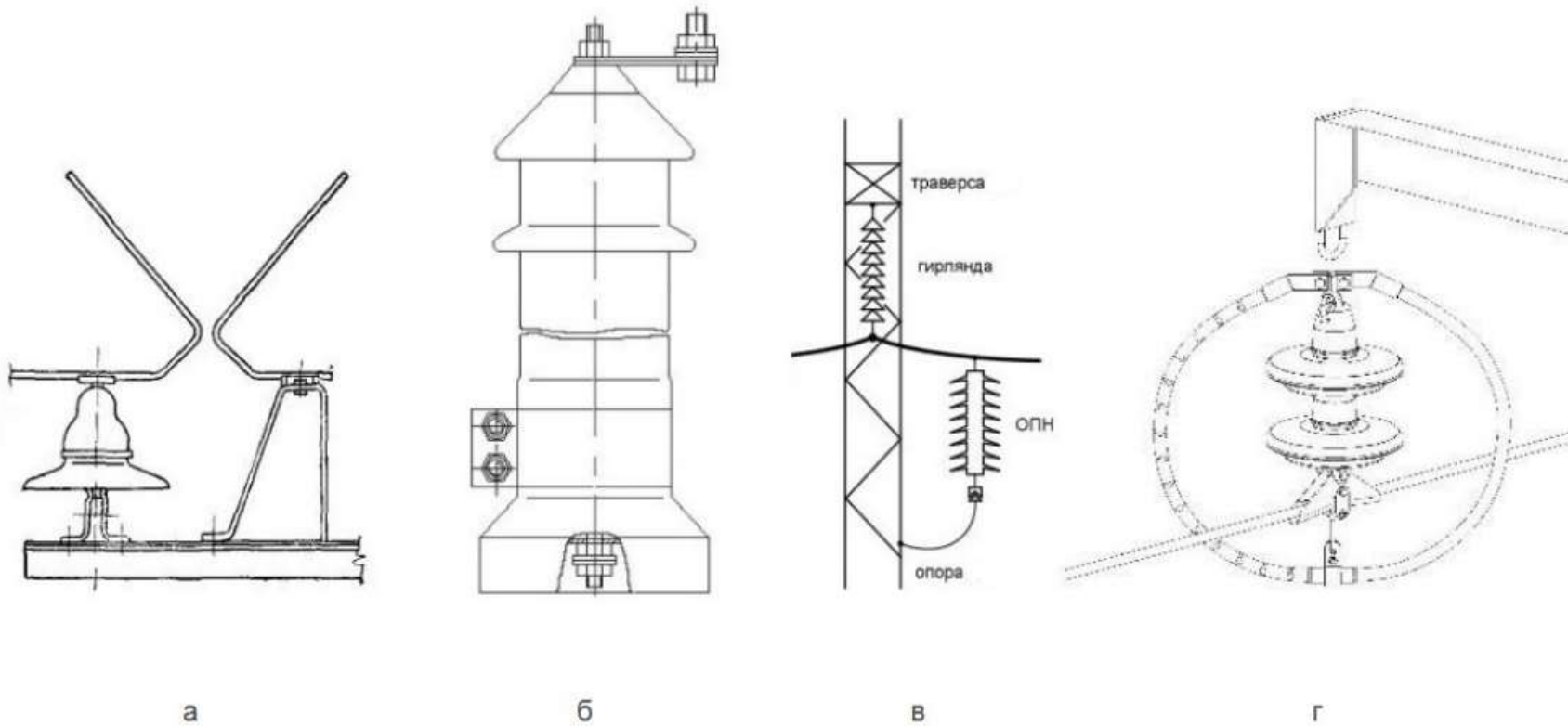
- ДЖ — джерело живлення;
- L1, L2, L3 — фазні провідники;
- 1 — заземлюючий пристрій джерела живлення;
- 2 — відкриті провідні частини обладнання;
- 3 — заземлювач для відкритих провідних частин;
- 4 — захисний провідник PE.



Види конструкцій заземлювальних пристроїв

Заземлювач	Рисунок	Розміри, м
Залізобетонна <u>свая</u>		$d = 0,25-0,4$ $l = 5$
Сталевий <u>двострижневий</u> : полоса розміром 40×4 мм стрижні діаметром $d=10-20$ мм		$t = 0,5$ $l = 3-5$ $c = 3-5$
Сталевий <u>тристрижневий</u> : полоса розміром 40×4 мм, стрижні діаметром $d= 10-20$ мм		$t = 0,5$ $l = 3-5$ $c = 5-6$

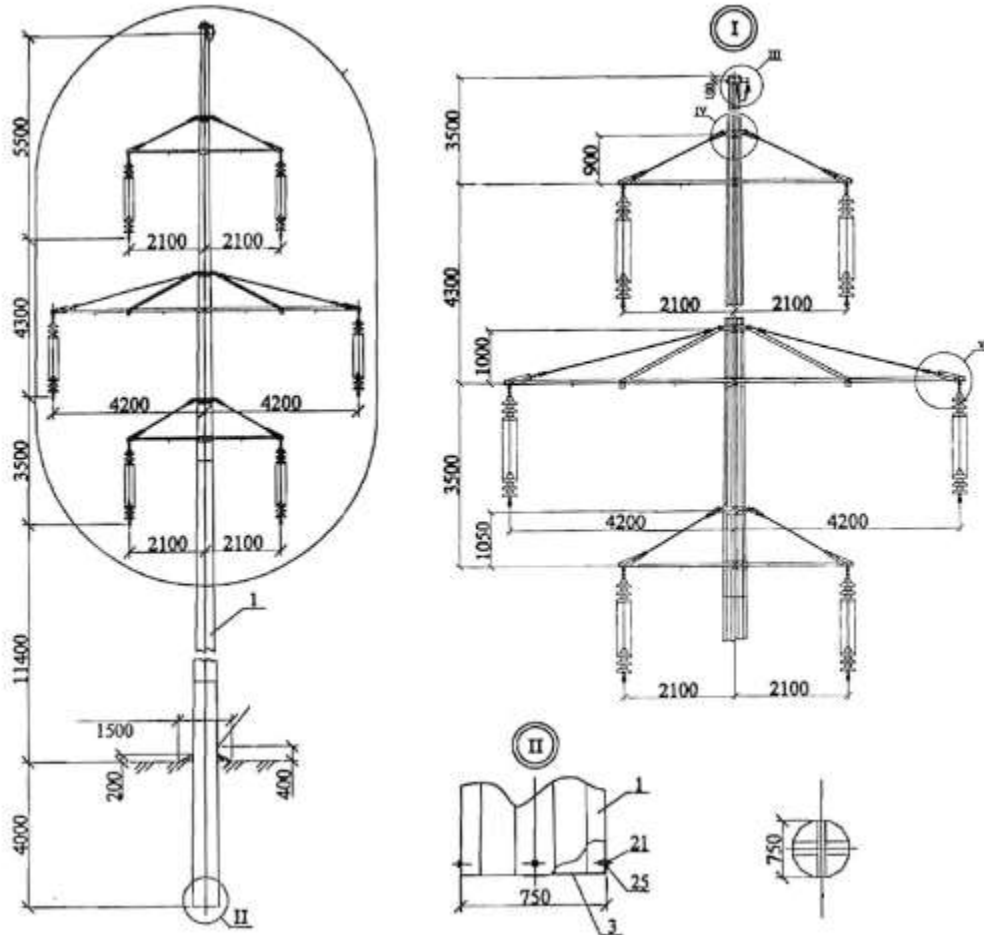
Заземлення та грозозахист опор високовольних ліній напругою 110 кВ



Засоби грозозахисту повітряних ліній електропередачі:

а) іскровий проміжок; б) вентильний розрядник; в) ОПН; г) довго-іскровий розрядник

Влаштування заземлення для опор 110кВ



Для опор ПЛ 110 кВ у ґрунтах із питомим опором до 1000 Ом·м як природні заземлювачі можуть бути використані залізобетонні фундаменти опор (збірні, монолітні, палі, набивні). При цьому фундаменти не повинні мати гідроізоляції полімерними матеріалами і необхідно забезпечити металевий зв'язок між анкерними болтами та арматурою фундаменту.

Кінець заземлювального спуску приєднують до заземлювача, а другий до заземлювального елемента. На металевих опорах заземлювані елементи приєднують до опори, а стовбур опори внизу з'єднують із заземлювачем.

Висновки

- запропонована система заземлення повністю відповідає нормативним вимогам;
- забезпечено безпечні значення напруг дотику та кроку;
- враховано особливості монтажу в складних ґрунтових умовах;
- надано рекомендації щодо використання природних елементів (фундаментів) як заземлювачів.