

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний аграрний університет
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Допущений до захисту:
завідувач кафедри ЕЕЕ
д.т.н. проф. Матвійчук В.А.

(Підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)
“ ____ ” _____ 2019 р.

«Дослідження та проектування заземлювальних
пристроїв з контролем їх стану»

Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр»
за спеціальністю 141 – Електроенергетика,
електротехніка і електромеханіка

Виконав: студент групи ЕІ-18-1 (маг)

Кальянов Євгеній Олександрович _____

Керівник: д.т.н., професор, каф. ЕЕЕ

Михалевич Володимир Маркусович _____

Вінницький національний аграрний університет
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри ЕЕЕ
д.т.н., професор Матвійчук В.А.

«___» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТА
Кальянов Євгеній Олександрович

1.Тема роботи: «Дослідження та проектування заземлювальних пристроїв з контролем їх стану»

Керівник роботи: Михалевич Володимир Маркусович, д.т.н., професор
Затверджені наказом ВНАУ від «___» _____ 2019 року № _____.

2. Строк подання студентом роботи: _____

3. Вхідні дані Матвійчук В.А., Стаднік М.І., Рубаненко О.О.
Електропривод виробничих машин і механізмів. Навчальний посібник з виконання курсової роботи для спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». / Вінниця: ВНАУ, 2016.- с.92., Рожкова Л. Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций / Л. Д. Рожкова, Л. К. Карнеева, Т. В. Чиркова. – М.: изд. центр «Академия», 2007. – 448 с., 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., Положення про кваліфікаційну роботу у Вінницькому національному технічному університеті / О. Н. Романюк, Р. Р. Обертюх, Т. О. Савчук, Л. П. Громова – Вінниця : ВНТУ, 2014 – 26 с. 6 Автоматизація технологічних процесів на теплових електричних станціях. Тези. Стаднік М.І., д.т.н., професор, Рубаненко О.О., к.т.н., доцент Скалецький Д.І., студент групи ЕЕС-13 . Стор.95, Том 3

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити):

Вступ., 1. Дослідження заземлювальних пристроїв., 2. Технічні дослідження, 3. Методики розрахунку параметрів ЗП., 4. Приклади проектування заземлювальних пристроїв електричних станцій і підстанцій., 5. Дослідження методів контролю стану заземлювальних пристроїв діючих енергооб'єктів на сучасному етапі., 6. Техніко –економічний розрахунок., 7. Охорона праці., Висновки.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи (роботи)	Примітка
	Вступ Зовнішня інформація для виконання дипломної роботи.		
	Виконання розділу 1		
	Виконання розділу 2		
	Виконання розділу 3		
	Виконання розділу 4		
	Виконання розділу 5		
	Виконання розділу 6		
	Виконання розділу 7		
	Оформлення пояснювальної записки		
	Підготовка доповіді і презентаційного матеріалу		

Завдання прийняв до виконання студент _____ Кальянов Є.О.
(підпис)

Керівник роботи _____ Михалевич В.М.
(підпис)

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	6
ВСТУП	9
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ	13
1.1 Загальні визначення заземлювальних пристроїв та їх елементів	13
1.2 Призначення та класифікація провідників заземлення	15
1.3 Класифікація типів заземлення та їх характеристика	16
1.4 Схеми виконання систем заземлень	18
1.5 Вплив зовнішніх факторів на заземлювальні пристрої	24
2 ТЕХНІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	28
2.1 Проектні дослідження	28
2.2 Визначення параметрів геоелектричної структури і поля блукаючих струмів	28
2.3 Виявлення природних заземлювачів і металевих комунікацій в зоні, прилеглий до електроустановки	32
2.4 Визначення корозійних характеристик ґрунту	33
3 МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ЗП	35
3.1. Завдання розрахунку і конструювання	35
3.2 Основні положення розрахунку	36
3.3. Підготовка вихідних даних	38
3.3.1 Розрахункові параметри електричної структури землі	38
3.3.2 Визначення розрахункового струму	39
3.3.3 Природні заземлювачі	40
3.3.4 Розрахункові моделі штучного і виносного заземлювачів	41
3.4 Розрахунок штучного і виносного заземлювача	44
3.5 Конструювання заземлюючих пристроїв підстанцій і розподільчих пристроїв станцій	48
4 ПРИКЛАДИ ПРОЕКТУВАННЯ ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ І ПІДСТАНЦІЙ	51
4.1 Загальні методи розрахунку параметрів заземлювальних пристроїв	51
4.2 Розрахунок параметрів заземлювального пристрою підстанції 35/10 кВ	52
4.3 Розрахунок пристроїв заземлення для електроустановок з	

ефективно заземленою нейтраллю	57
5. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ СТАНУ ЗАЗЕМЛЮВАЛИХ ПРИСТРОЇВ ДІЮЧИХ ЕНЕРГООБ'ЄКТІВ НА СУЧАСНОМУ ЕТАПІ	68
5.1 Опір заземлювального пристрою та напруга на ньому	68
5.2 Методика електромагнітної діагностики стану заземлювального пристрою	76
5.3 Прилади для контролю стану заземлювального пристрою	79
6. ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК	81
6.1. Капітальні вкладення	81
6.2. Операційні витрати	82
6.2.1. Амортизаційні нарахування	82
6.2.2. Експлуатаційні витрати	83
6.3. Оцінка економічної ефективності	83
6.4. Оцінка ефективності прийнятих рішень і основні техніко- економічні показники	85
7 ОХОРОНА ПРАЦІ	87
7.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта	87
7.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	91
7.2.1 Мікроклімат	91
7.2.2 Склад повітря робочої зони	92
7.2.3 Виробниче освітлення	92
7.2.4. Виробничий шум	94
7.3 Пожежна безпека	95
7.4 Допустимі напруги та умови безпеки в заземлювальних пристроях	98
7.5 Умови безпеки в зоні заземлювальних пристроїв	99
ВИСНОВКИ	101
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	102
ДОДАТКИ	108

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота складається з розрахунково-пояснювальної записки, яка виконана на 117 друкованих аркушах та складається зі вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних і літературних джерел, додатків і схем. В роботі надано загальні відомості про заземлювальні пристрої, їх конструкцію, принцип роботи. Проведено аналіз методів розрахунку параметрів заземлювальних пристроїв. Здійснено огляд існуючих методів заземлювальних пристроїв та засобів контролю заземлювальних пристроїв та діагностики їх стану.

Магістерська робота містить 24 таблиці, 26 рисунки, 66 літературних джерел, 4 додатки.

ANNOTATION

The master's thesis consists of a calculation and explanatory note, which is made on 117 printed sheets and consists of an introduction, 7 sections, conclusions, a list of used and literary sources, applications and schemes. The paper gives general information about grounding devices, their design, principle of operation. The methods of calculating the parameters of grounding devices are analyzed. Existing methods of grounding devices and means of controlling grounding devices are reviewed and their condition is diagnosed.

The master's thesis contains 24 tables, 26 drawings, 66 literary sources, 4 appendices.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- ЗП - заземлювальний пристрій
- ВРП - відкритий розподільчий пристрій
- ПУЕ - правила улаштування електроустановок
- ПЛ - повітряна лінія
- РП - розподільчий пристрій
- ВЕЗ - вертикальне електричне зондування
- СібНДІЕ - Сибірський науково-дослідний інститут енергетики
- БДПІ - Білоруський державний проектний інститут
- ЕМП - Енергомережпроект
- ЕОМ - електрообчислювальні машини
- КТПБ - Комплектна трансформаторна підстанція блочного типу
- БНіП - будівельні норми і правила
- ВЗЕ - виносний заземлювальний електрод
- БННШ - безпечна наднизька напруга
- ЗННН - захисна наднизька напруга
- ФННН - функціональна наднизька напруга

ВСТУП

Актуальність теми. Заземлювальні пристрої є частиною електроустановок та служать для забезпечення необхідного рівня електробезпеки в зоні обслуговування електроустановки і за її межами для відводу в землю імпульсних струмів з блискавковідводів та розрядників і для створення кола при роботі захисту від замикань на землю, а також для стабілізації напруги фаз електричних мереж відносно землі [1].

Найбільш жорсткі вимоги висуваються до заземлювальних пристроїв (ЗП) умовами забезпечення безпеки, оскільки для ізоляції електрообладнання небезпечні різниці потенціалів у всіх випадках значно перевищують номінальну напругу.

Для заземлення електроустановок різних призначень та напруг, як правило, використовується один загальний ЗП. Заземленню підлягають корпуси електричних машин, трансформаторів, приводи електричних апаратів, каркаси розподільних щитів, щитів управління та шаф, а також вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів [2-5].

Опір ЗП, які використовуються для заземлення електроустановок, різних за призначенням і з різними рівнями напруг, задовольняє вимогам до заземлення того обладнання, для якого необхідно мати мінімальний опір ЗП.

Для оцінки працездатності заземлювального пристрою, що забезпечує захист технічного стану електроенергооб'єкта, застосовуються різні технічні способи та засоби. До теперішнього часу перевірити якість конструктивного виконання ЗП в процесі експлуатації енергооб'єктів було можливо тільки шляхом відкопування. Тому аналіз існуючих та розробка нових технічних способів для здійснення систематичного контролю ЗП є винятково важливою й актуальною задачею.

Метою роботи є аналіз існуючих методів контролю та визначення найефективніших з них для оцінки стану ЗП діючих енергооб'єктів в процесі експлуатації

Об'єкт дослідження: Заземлювальні пристрої.

Наукова новизна: Контроль заземлюючих пристроїв під час їх експлуатації.

Практичне значення: В електротехнічних пристроях безпечна експлуатація і нормальне їхнє функціонування в значній мірі обумовлюється якістю виконання заземлювального пристрою. Для оцінки працездатності заземлювального пристрою, (ЗП), що забезпечує захист технічного стану електроенергооб'єкта, застосовуються різні технічні способи контролю. Однак, існуючі методи контролю і вимірювальні параметри не дають повної інформації о реальному розташуванні елементів ЗП. Тому до теперішнього часу перевірити якість конструктивного виконання ЗП в процесі експлуатації енергооб'єктів було можливо тільки шляхом відкопування, що в силу надмірної трудоемності не виконувалося, хоча вимогами нормативних документів передбачається проведення подібного контролю кожні 12 років. При цьому, розрахункова перевірка, передбачена в нормативних документах, також не може бути реалізована без знання реального розташування ЗП на момент іспиту. Тому розробка нових технічних способів для здійснення систематичного контролю ЗП методом неруйнівного контролю, без розкриття ґрунту і відключення устаткування є винятково важливою й актуальною задачею. У випадку несправності ЗП можливий вихід з ладу обладнання значної вартості, а також виникають труднощі при виконанні ремонтних і модернізаційних робіт, особливо при реконструкції підстанцій і заміні старого обладнання на більш сучасне. Актуальність цієї задачі підсилюється тим фактом, що в даний час в Україні на підстанціях встановлюються пристрої релейного захисту й автоматики як іноземного, так і вітчизняного виробництва на основі мікропроцесорної техніки, яка набагато

менш, ніж релейно-контакторна, захищена від впливу завад, причиною яких може стати несправний ЗП.

Світові тенденції підвищення надійності і пропускної спроможності мереж електропередачі, підвищення безпеки роботи енергетичних підприємств ґрунтуються на підвищенні безпеки роботи з силовим високовольтним устаткуванням.

Одним з важливих чинників, які впливають на безпеку експлуатації, обслуговування і ремонту силового енергетичного обладнання є правильний вибір, проектування, монтаж і експлуатація заземлюючих пристроїв [1].

Особливо важливим стає це завдання в умовах проектування і будівництва нових блоків атомних електричних станцій, нових електричних підстанцій і ліній електропередач.

Це забезпечує підвищення надійності і техніко-екологічної безпеки високовольтних повітряних ЛЕП, високовольтних систем передачі і розподілу електричної енергії в енергонасичених регіонах і об'єктах з великою щільністю людей.

Багато важливих технічних і економічних показників електричних мереж залежать від способу заземлення електричних мереж, який впливає на вартість ізоляції ліній та устаткування мережі, а також на вартість пристроїв заземлення; на надійність електропостачання споживачів; на можливість виникнення ферорезонансних та резонансних процесів; на умови безпеки обслуговування електроустановок; на виконання та функціонування пристроїв захисту від замикання на землю. Отже, правильний вибір способу заземлення електричних мереж має принципове і практичне значення.

Відомо, що в середньому електротравми складають 3% від загального числа травм, 12 - 13% - смертельні електротравми від загального числа смертельних випадків. Це багато, якщо враховувати високий рівень травматизму в країні.

Прийнято обчислювати електротравматизм з розрахунку на 1 млн. жителів. В Україні цей показник складає 8,8 смертельних електротравм на 1 млн. жителів країни в рік (у передових промислово розвинених країнах не більше 3).

Основні задачі:

1. Дослідження основних понять про заземлення електроустановок;
2. Аналіз конструктивних особливостей заземлювальних пристроїв;
3. Дослідження задач експлуатації заземлювальних пристроїв;
4. Розрахунок заземлювачів та заземлювальних пристроїв на прикладі ЗП розподільної установки електростанції.

Апробація результатів: Матеріали магістерської роботи доповідались на конференціях та семінарах кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки» Вінницького національного аграрного університету протягом навчання.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

2.4 Загальні визначення заземлювальних пристроїв та їх елементів

Для захисту від ураження електричним струмом при замиканнях на корпус застосовуються захисні заходи безпеки. Їх сім: заземлення, занулення [6], вирівнювання потенціалів, мала напруга, ізоляція, захисне відключення, роздільні трансформатори.

Заземлювач - провідна частина (провідник) або сукупність з'єднаних між собою провідних частин (провідників), які перебувають в електричному контакті із землею безпосередньо або через проміжне провідне середовище, наприклад, через бетон [2].

Штучний заземлювач - заземлювач, який спеціально виконують з метою заземлення.

Штучні заземлювачі виконують з вертикальних і (або) горизонтальних електродів [4]. Електроди можуть бути із сталі або із міді.

Вертикальні електроди заглиблюють в землю таким чином, щоб їх верхня кінцівка знаходилася на глибині 0,7-0,8 м від поверхні землі [3]. Якщо заземлювач має кілька вертикальних електродів, вони з'єднуються між собою горизонтальними електродами, які також розміщуються на глибині 0,7-0,8 м. Довжина вертикальних електродів зазвичай приймається 3-5 м, а у разі великого питомого опору у верхньому шарі землі і значно меншому опору в нижньому може бути 10-15 м і більше. Відстань між сусідніми вертикальними електродами повинна бути не меншою, ніж довжина електроду. Краще, щоб ця відстань була у два чи три рази більшою за довжину електроду. Якщо питомий опір землі у верхньому шарі незначний, штучні заземлювачі можуть виконуватися шляхом закладання в землю тільки горизонтальних електродів, без застосування вертикальних.

Природний заземлювач - провідна частина, яка крім своїх безпосередніх функцій одночасно може виконувати функції заземлювача (наприклад, арматура фундаментів та інженерних комунікацій будівель і споруд, підземна частина металевих і залізобетонних опор ПЛ тощо). Перевага: застосування природних заземлювачів дозволяє отримати значну економію коштів і матеріалів на спорудженні заземлювальних пристроїв. Недолік: вадою природних заземлювачів у багатьох випадках є доступність до них людей, які не мають ніякого відношення до електроустановки і за цієї причини існує можливість пошкодження неперервності їх з'єднань. Тому, у разі використання природних заземлювачів, це повинно враховуватися.

Електрично-незалежні заземлювачі [5] - заземлювачі, розташовані на такій відстані один від одного, що максимально можливий струм, який може стікати в землю по одному з них, суттєво не впливає на електричний потенціал інших.

Заземлювальний провідник - провідник, який з'єднує заземлювач з визначеною точкою системи або електроустановки чи обладнання.

Заземлювальний пристрій - сукупність електрично-з'єднаних між собою заземлювача і заземлювальних провідників, включаючи елементи їх з'єднання.

Основними електричними параметрами заземлювального пристрою є: опір розтікання заземлювача, напруга дотику напруга кроку в зоні розтікання. Заземлення - виконання електричного з'єднання між визначеною точкою системи або установки або обладнання і локальною землею.

Примітка: з'єднання з локальною землею може бути навмисним, ненавмисним і випадковим, а також постійним або тимчасовим.

Захисне заземлення - заземлення точки чи точок системи, установки або обладнання з метою забезпечення електробезпеки [10].

Функціональне (робоче) заземлення - заземлення точки чи точок системи, установки або обладнання з метою, що не пов'язана з електробезпекою.

Захисний провідник - провідник, призначений для забезпечення електробезпеки.

Захисний заземлювальний провідник - заземлювальний провідник, призначений для захисного заземлення.

Провідник системи зрівнювання потенціалів - захисний провідник, призначений для захисного зрівнювання потенціалів.

1.2 Призначення та класифікація провідників заземлення

РЕ – провідник (від англ. «Protective Earthing » - захисне заземлення) - захисний провідник (рис.1.1) в електроустановках напругою до 1 кВ, призначений для захисту від ураження електричним струмом [1].

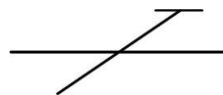


Рисунок 1.1 - РЕ-провідник

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 багатофазної системи або заземлена точка однофазної системи [1].

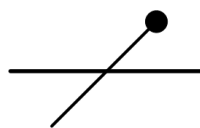


Рисунок 1.2 - N – провідник

М – 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.

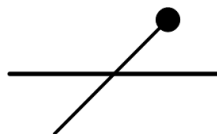


Рисунок 1.3 - М – провідник

PEN - провідник - провідник в електроустановках напругою до 1 кВ, який поєднує в собі функції - захисного (PE-) 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.

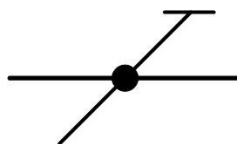


Рисунок 1.4 - PEN - провідник

1.3 Класифікація типів заземлення та їх характеристика

Тип заземлення системи - показник, який характеризує розташування нейтрального провідника (N - провідника) або провідника середньої точки (М-провідника) і з'єднання з землею струмопровідних частин джерела живлення та відкритих провідних частин в електроустановках напругою до 1 кВ.

Позначення типу заземлення системи (ГОСТ 30331.2) системи TN:
система TN-S; система TN-C; система TN-C-S; система TT; система IT
Система TN - системи, в яких мережа живлення має глухе заземлення однієї точки струмопровідних частин джерела живлення, а електроприймачі і відкриті провідні частини електроустановки приєднуються до цієї точки за допомогою відповідно N - або M - і захисного PE –провідників. Де: T – “terra” – земля, N - нейтраль.

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.

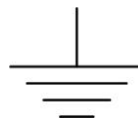


Рисунок 1.5 - Позначення землі на схемі

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:

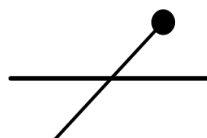


Рисунок 1.6 - Позначення N – провідника на схемі

1.4 Схеми виконання систем заземлень

Система TN-S - система TN, в якій N - або M - і PE - провідники розділено по всій мережі. Літера S показує розташування нейтрального N і захисного PE- провідників: S (від англ. «separate» - розділяти) - функції N- і PE-провідників виконують окремі провідники

Схеми виконання систем TN-S (рис. 1.7, 1.8): 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 TN-C (Рисунок 1.9)- система TN, в якій N - або M- і PE- провідники поєднано в одному PEN-провіднику по всій мережі C (від англ. «combine» - об'єднувати) - функції N- і PE-провідників виконує один PEN - провідник.

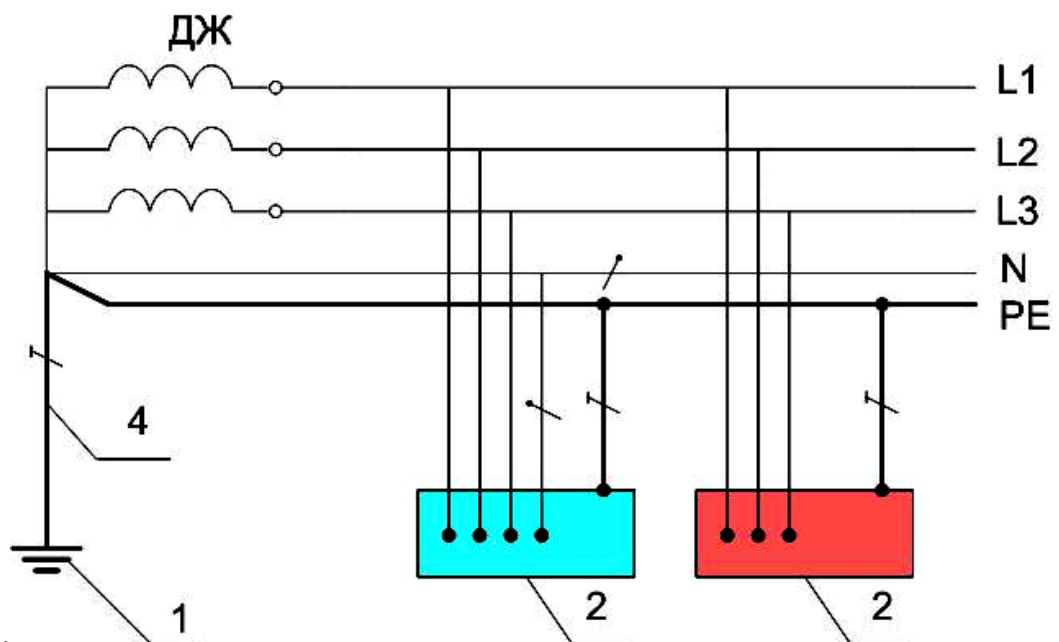


Рисунок 1.7 - Схема 1 виконання системи TN-S (у джерела схема «зірки»)

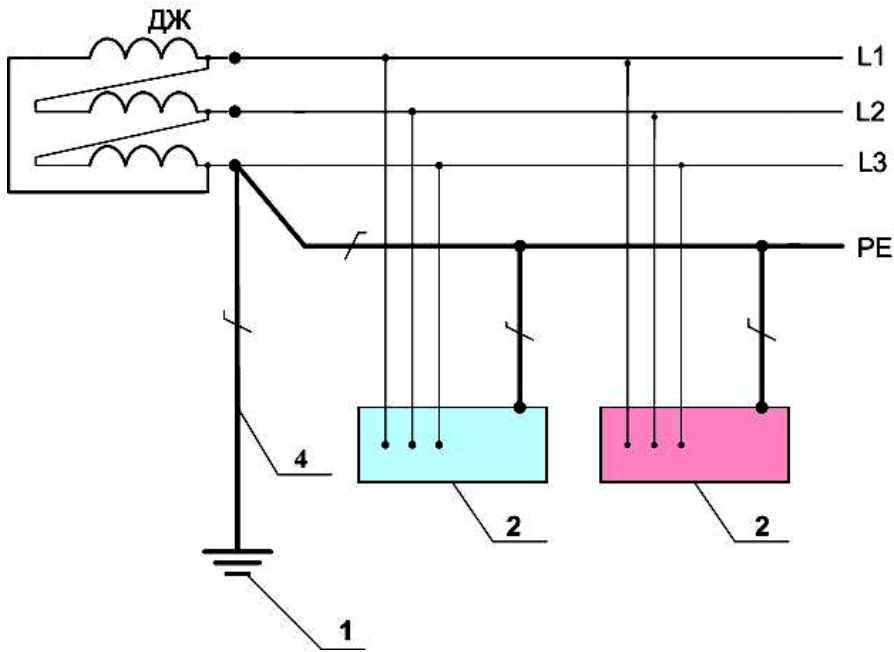


Рисунок 1.8 – Схема 2 виконання системи TN-S (у джерела схема «трикутника»)

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.

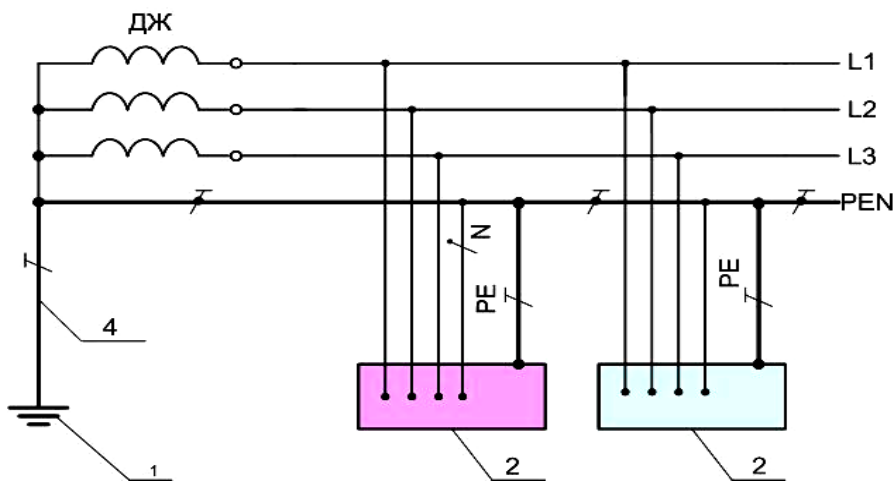


Рисунок 1.9 - Схеми виконання систем TN-C (у джерела схема «зірки»)

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.

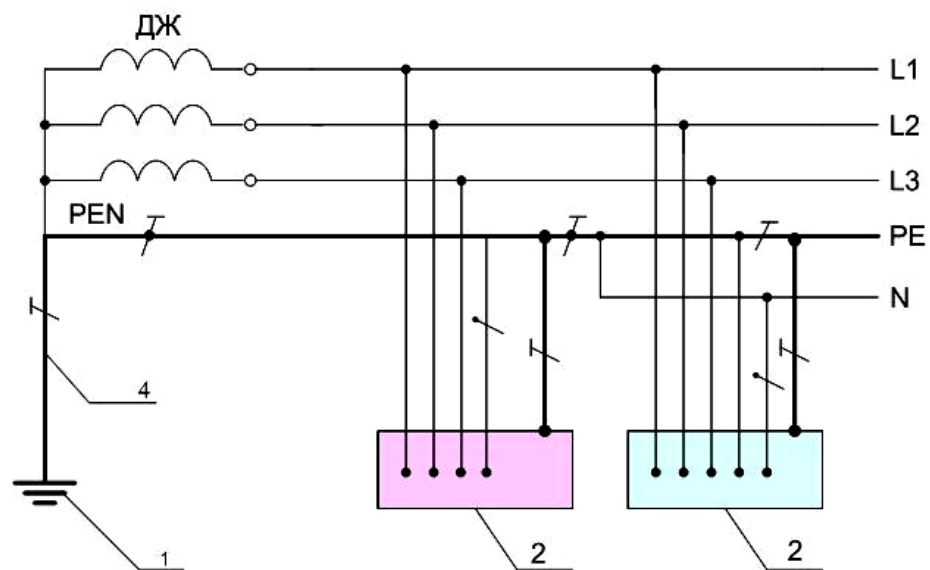


Рисунок 1.10 - Схема виконання систем TN-C-S (у джерела схема «зірки»)

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 TT: 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.

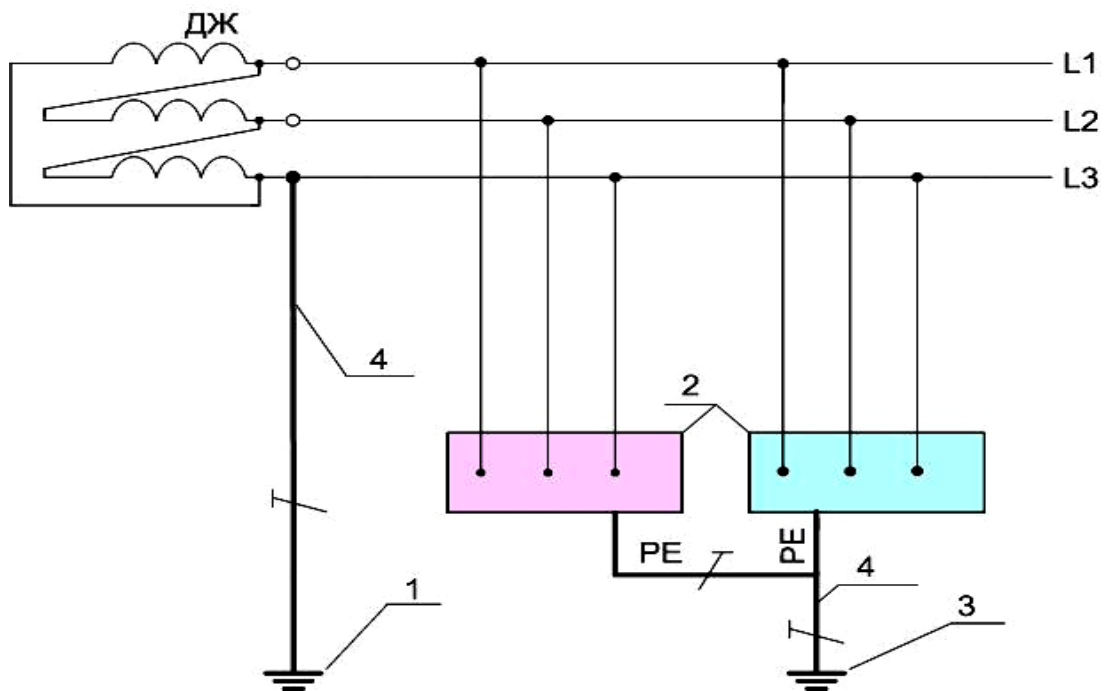


Рисунок 1.11- Схема 1 виконання системи ТТ

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.

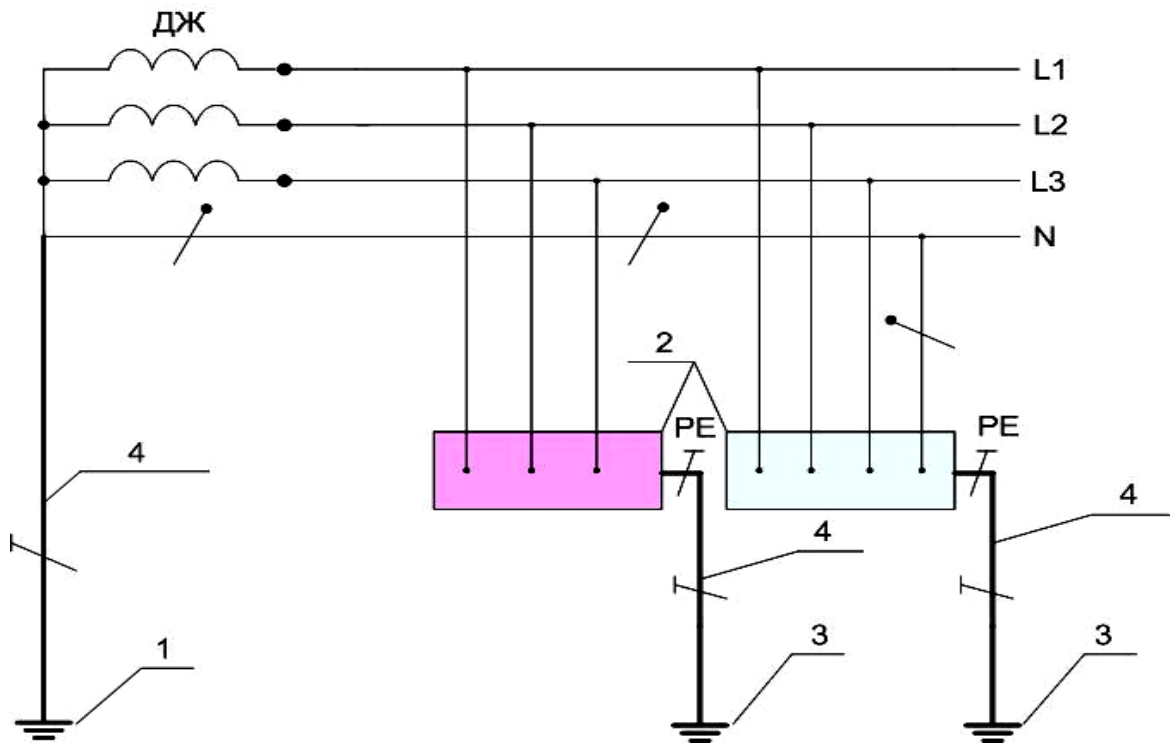


Рисунок 1.12 – Схема 2 виконання системи ТТ (у джерела схема «зірки»)

Система ІТ - система, в якій мережа живлення ізолювана 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.

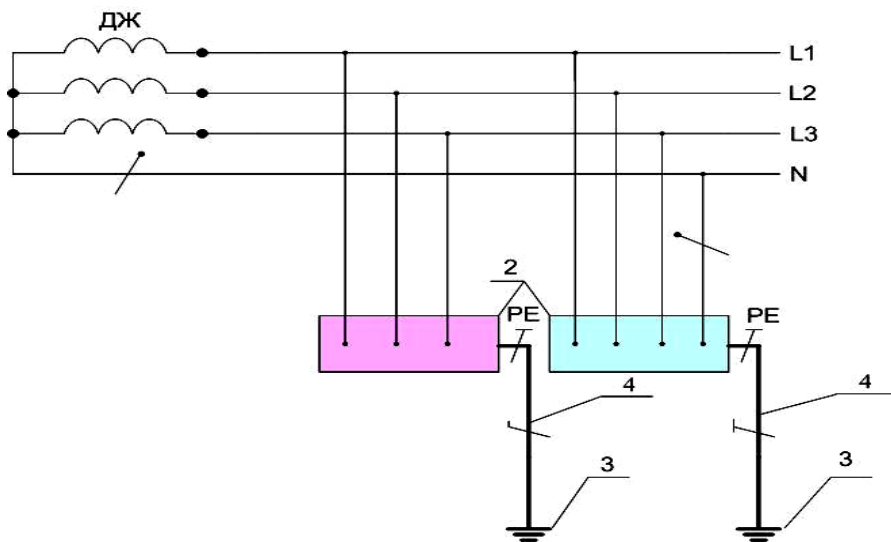


Рисунок 1.13 - Схема 1 виконання системи ІТ (у джерела схема «зірки»)

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.

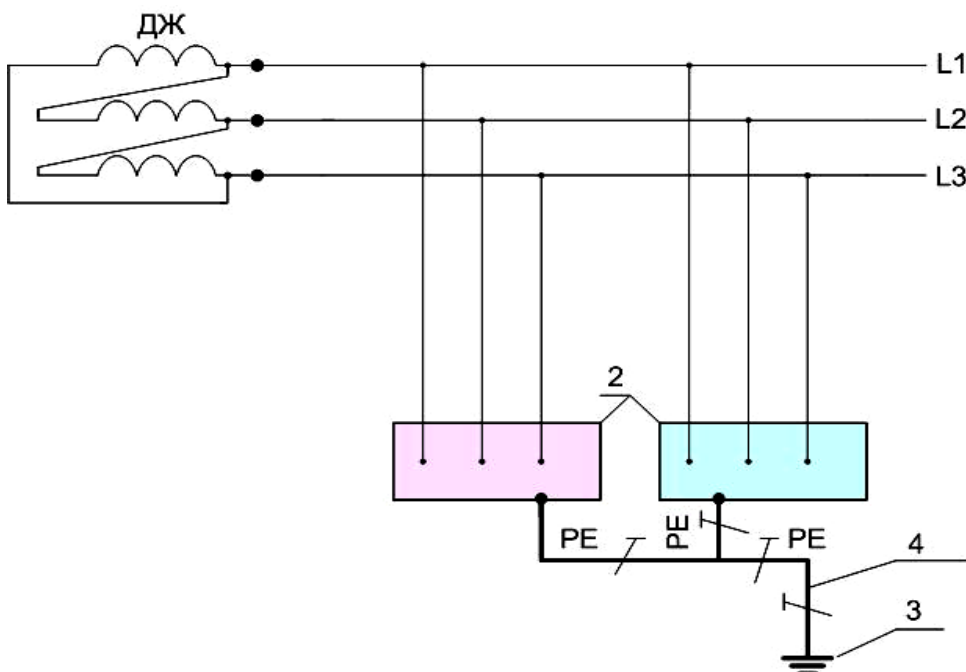


Рисунок 1.14 – Схема 2 виконання системи ІТ (у джерела схема
 «трикутника»)

1.5 Вплив зовнішніх факторів на заземлювальні пристрої

Світові тенденції підвищення надійності і пропускної спроможності мереж електропередачі, підвищення безпеки роботи енергетичних підприємств ґрунту-ються на підвищенні безпеки роботи з силовим високовольтним устаткуванням.

Одним з важливих чинників, які впливають на безпеку експлуатації, обслу-говування і ремонту силового енергетичного обладнання є правильний вибір, проектування, монтаж і експлуатація заземлюючих пристроїв.

ЗП станцій і підстанцій призначений для виконання захисних і робочих функцій, до яких відносяться: забезпечення електричної безпеки; заземлення нейтралі трансформаторів, шунтувальних і дугогасних реакторів і інших апаратів високої і низької напруги; створення ланцюга струму для захисту від замикання на землю; відведення в землю імпульсних струмів з громовідводів і розрядників; забезпечення захисту підземних конструкцій від пошкодження струмами замикання на землю. У загальному випадку ЗП містить природні заземлювачі, штучний зазем-лювач, який споруджується в зоні розташування електроустановки (в першу чер-гу в устаткуванні, що заземляється), і при необхідності - свердловинний і винос-ний заземлювачі

Таблиця 1.1 - Вплив зовнішніх факторів на заземлювальні пристрої [16]

Ґрунти	Питомий опір, Ом·см		
	Мін.	Середнє	Макс.
Зольні ґрунти, шлаки, засолені ґрунти, пустинні	590	2370	7000
Ґлини, глинисті сланці, мулистий ґрунт, суглинок	340	4060	16000
Ґравій, пісок, камені з невеликою кількістю глини або суглинку	59000	94000	458000

Територіальне районування України за середньорічною температурою повітря показано на рис. 1.15 [14]

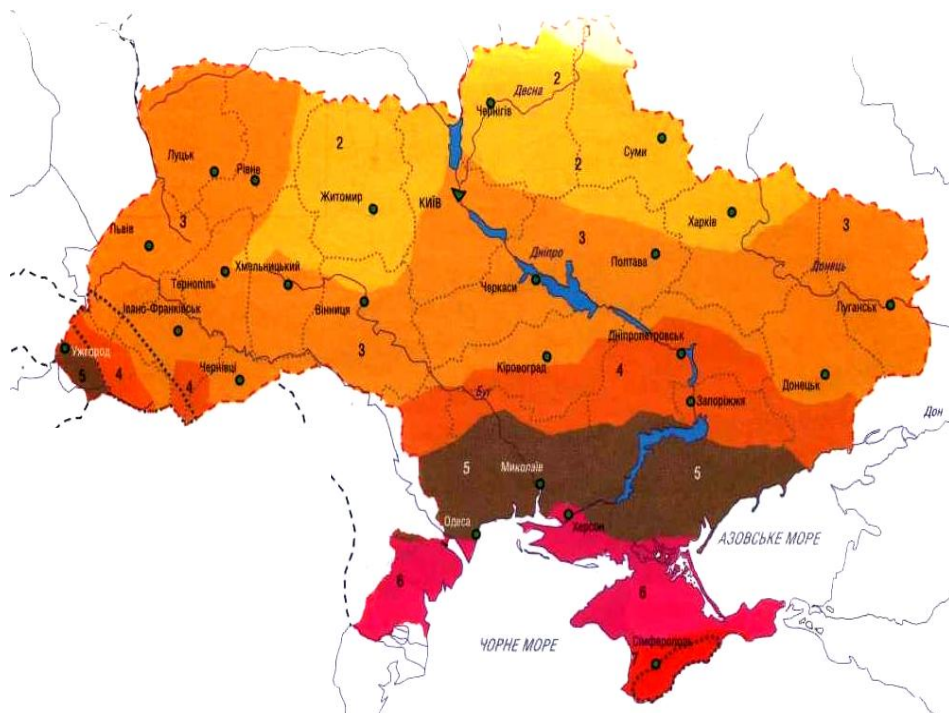


Рисунок 1.15 - Територіальне районування України за середньорічною температурою повітря [7]

Як можна бачити в таблиці 1.2, опір зразка ґрунту змінюється вельми швидко при збільшенні вмісту вологи 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 суглинку від температури

Температура, °С	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

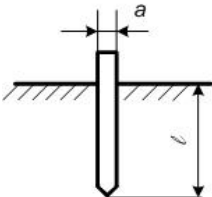
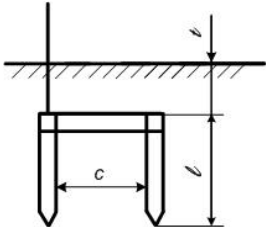
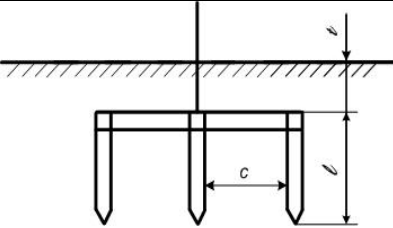
Кліматичні зони розташування заземлювальних пристроїв. Найнесприятливішими умовами для заземлювальних пристроїв є тропічні і субтропічні кліматичні пояси, а також пояси з великою кількістю сезонних дощів.

Так під час промерзання ґрунту, або в посушливий період - під час його висихання, значно збільшується питомий опір в верхніх шарах, а відповідно йому і опір заземлювальних пристроїв. Особливо значних змін зазнає опір горизонтальних заземлювачів, закладених в землю на глибину 0,7-0,8 м.

Якщо контурний заземлювач охоплює базову конструкцію зі всіх сторін, то він приєднується до останньої не менше ніж в чотирьох місцях. У всіх інших ви-падках контурний заземлювач приєднується до базової конструкції в 2-х - 3-х місцях.

У межах огорожі електроустановки горизонтальні елементи зовнішньої частини штучного заземлення прокладаються на такій же глибині, як і горизонтальні елементи базової конструкції. За межами огорожі прокладання вказаних горизонтальних елементів здійснюється на глибині не менше 1,0 м (ПУЕ 1-7-53).

Таблиця 1.5 - Види конструкцій заземлювальних пристроїв [18]

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

Висновки до першого розділу.

1. Для захисту від ураження людини електричним струмом застосовуються такі захисні заходи безпеки, як: заземлення, занулення, вирівнювання потенціалів, мала напруга.

2. Заземлювач - провідна частина (провідник) або сукупність з'єднаних між собою провідних частин (провідників), які перебувають в електричному контакті із землею безпосередньо або через проміжне провідне середовище, наприклад, через бетон.

3. Опір заземлювального пристрою залежить від вологості виду ґрунту, вологості ґрунту, від температури ґрунту і повітря та інших факторів.

3 ТЕХНІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Проектні дослідження

На стадії перед проектних досліджень отримують інформацію, необхідну для проектування ЗП з урахуванням реальних умов в зоні розташування електричних станцій і підстанцій.

Перед проектні дослідження містять:

- визначення геоелектричної структури на майданчику електроустановок, в місцях можливого спорудження виносних заземлювачів і уздовж траси кабелів, що відходять від електроустановок, та трубопроводів, які передбачається використовувати як природні заземлювачі;
- виявлення і дослідження природних заземлювачів;
- виявлення наявності в землі інших металічних комунікацій для врахування їх при вимірюванні електричних характеристик ЗП;
- визначення корозійних параметрів ґрунту для вибору заходів щодо забезпечення довговічності заземлювачів.

Виконання перед проектних досліджень здійснюється на підставі спеціального завдання. В завданні повинна бути сформульована основна задача перед проектних досліджень, а також приведений перелік всіх призначених робіт.

3.2 Визначення параметрів геоелектричної структури і поля блукаючих струмів

Геоелектрична структура верхніх шарів землі, як правило, неоднорідна і залежить від характеру залягання і типу порід, їх вологості і температури, наявність ступенів мінералізації ґрунтових вод.

У більшості практичних випадків земля може бути представлена у вигляді багат шарової електричної структури. Отримання необхідної інформації про геоелектричної структуру (питомий опір і потужності шарів) здійснюється методом вертикального електричного зондування (метод ВЕЗ) за допомогою симетричних чотириелектродних установок.

Отримання інформації про геоелектричну структуру на основі визначення типів ґрунтів за даними буріння на майданчиках електроустановок з подальшим використанням таблиць питомих опорів ґрантів допускається тільки для електроустановок напругою 3-35 кВ.

У загальному випадку на майданчику електроустановки рекомендується виконувати основні і допоміжні ВЕЗ.

В результаті основних ВЕЗ отримують геоелектричний розріз до глибини, електрична структура на якій, виявляє певний вплив на формування електричних характеристик заземлювачів. Допоміжні ВЕЗ проводяться на малих глибинах для уточнення геоелектричних параметрів верхніх шарів при наявності горизонтальної неоднорідності.

Необхідна глибина зондування методом ВЕЗ залежить від геометричних розмірів майданчика електроустановки. Для основних ВЕЗ вона складає: при розмірах майданчиків до 100×100 м - не менше 140 м, при розмірах майданчиків вище 100×100 м не менше D (D - найбільша діагональ майданчика електроустановки). Глибина зондування допоміжними ВЕЗ складає не менше $0,2D$. Для свердловинних заземлювачів глибина зондування приймається рівною довжині заземлювача.

Основні ВЕЗ рекомендується виконувати в центрі кожного майданчика в двох взаємо перпендикулярних напрямках.

Допоміжні ВЕЗ проводяться з декількох центрів, кількість яких та їх розташування залежить від розмірів майданчика електроустановки. Розташування центрів зондування і направлення полу розносів установок

ВЕЗ вибираються згідно схем, показаних на рис. 2.1. Тут в центрі майданчика показані основні ВЕЗ.

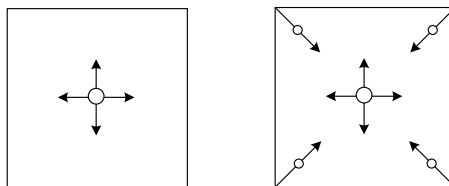


Рисунок 2.1 - Розташування центрів зондування і напрямлення полурозносів установок ВЕЗ

Дослідження під виносний заземлювач слід проводити, коли виміряне при напів рознесенні струмових електродів установки основних ВЕЗ більш ніж 10м, мінімальне значення питомого опору землі в Ом·м перевищує найбільшу діагональ майданчика в метрах.

Дослідження під виносний заземлювач виконується в місцях, віддалених від майданчика електроустановки на відстань не більше 2 км. При виборі майданчика під виносний заземлювач необхідно обстежувати місця з можливим низьким питомим опором ґрунтів. До таких місць можуть бути віднесені: заболочені місця, покинуті ділянки лугів, заплави річок, водоймища, ставки, западини з рихлими відкладеннями.

На майданчику під виносний заземлювач виконується 1 ВЕЗ на глибину не менше 100 м.

При визначенні геоелектричної структури вздовж траси кабелів і трубопроводів в першу чергу необхідно використовувати існуючу в геофонді інформацію про геоелектричний розріз даного регіона.

Якщо така інформація відсутня, дослідження геоелектричної структури виконується основними ВЕЗ рівномірно по довжині траси. При цьому кількість ВЕЗ приймається такою, яка дорівнює:

1. При довжині траси до 1км. - 1 ВЕЗ в кінці траси;
2. При довжині траси від 1км. до 4км. - приблизно через 1км, включаючи кінець траси , але не більше 3 ВЕЗ;

3. При довжині траси більше 4км. - 4 ВЕЗа, включаючи кінець траси.

Інформація про геоелектричну структуру видається у вигляді вимірних значень питомого опору шарів землі в Ом·м і їх потужностях в метрах.

Дані про електричну структуру землі, отримані основними і допоміжними ВЕЗ на одному і тому ж майданчику, можуть відрізнятися. Враховуючи те, що при розрахунку заземлювальних пристроїв використовується один геоелектричний розріз, у разі, коли дані ВЕЗ відрізняються, їх слід усереднити. Усереднення проводиться окремо для кожного шару землі. Підстилаючий шар землі допоміжних ВЕЗ при усередненні не враховується.

В якості усереднених приймаються середньоарифметичні значення питомих опорів і потужностей шарів.

При усередненні результатів зондування по трасі кабелів і трубопроводів, крім виконаних по трасі ВЕЗ, використовуються усереднені параметри землі на майданчику електроустановки.

У початковій інформації для проектування параметрів геоелектричної структури задаються у вигляді усереднених значень питомим опором і потужності шарів землі.

Оцінка впливу поля блукаючих струмів виконується при питомому опорі верхнього шару ґрунту менше 100 Ом·м і при розташуванні майданчиків проєктованих електроустановок ближче 30км від залізних доріг, електрифікованих на постійному струмі, а також за наявності поблизу інших джерел постійного струму.

Вимірювання параметрів поля блукаючих струмів [15] проводяться на максимальних розносах двох крайніх електродів при виконанні основних ВЕЗ. Вимірювальні електроди занурюються в ґрунт на глибину 0,5+0,8м. Між електродами включаються, по черзі, вольтметр з вхідним опором не менше 20 кОм/В шкали і міліамперметр з вхідним опором 1+5 Ом.

Вимірювання проводяться через кожні 10-15 сек. протягом 10-15 хв. На підставі вимірювань розраховуються середня величина різниці потенціалів і струму між електродами. Розраховується щільність струму на електродах (як відношення середнього значення струму між електродами до середнього значення площі, зануреної в ґрунт частини кожного електроду). Якщо вимірювана різниця потенціалів змінюється по величині і знаку або тільки по величині, то це вказує на наявність в землі блукаючих струмів.

3.3 Виявлення природних заземлювачів і металевих комунікацій в зоні, прилеглий до електроустановки

При виконанні ЗП в першу чергу повинні бути використані природні заземлювачі. Максимальне використання природних заземлювачів дозволяє істотно зменшити витрати металу і засобів на виконання ЗП. Тому на стадії передпроектних досліджень необхідно особливу увагу приділяти дослідженню природних заземлювачів з метою отримання в повному об'ємі інформації про їх електричні і конструктивні параметри.

Виявленню і обстеженню підлягають природні заземлювачі, які розташовані від електроустановки на відстані не більше 0,5км. До таких природних заземлювачів перш за все відносяться: система «трос-опори» існуючої лінії електропередачі, яка буде підключена до електроустановки; металеві трубопроводи; кабелі; рейкові шляхи; обсадні труби розвідувальних і експлуатаційних свердловин.

При обстеженні природних заземлювачів вимірюється їх опір розтікання. Якщо вимірювання опору неможливе, визначаються їх основні геометричні розміри (довжина, діаметр і ін.), а для лінії електропередачі уточняється вимірювання енергосистемою значення опору ЗП перших двадцяти опор на підході до електроустановки.

Обстеженню підлягає також заземлююча система об'єкту, до якого підходять кабельні лінії, і об'єкту, від якого здійснюється водопостачання електроустановки по трубопроводі. При цьому в першу чергу проводиться вимірювання системи заземлення. Якщо вимірювання опору неможливе, визначається сумарна площа споруд і будівель об'єкта.

Використання окремих об'єктів в якості природних заземлювачів повинно бути узгоджено з організацією, який належить розглянутий об'єкт.

На точність вимірювання електричних характеристик заземлюючих пристроїв суттєвий вплив мають прокладені в землі протяжні залізні та інші провідні комунікації, які знаходяться в зоні розташування проводів струмової і потенціальної мереж вимірювальної схеми. До таких об'єктів відносяться: магістральні нафтопроводи і газопроводи, водопровідні системи, споруди, кабельні лінії електропередач та ін.

Для обліку впливу вказаних об'єктів на результати вимірювань електричних характеристик ЗП при передпроектних дослідженнях вони повинні бути виявлені і нанесені на ситуаційний план проекрованої електроустановки. Виявленню підлягають тільки ті об'єкти, які віддалені від електроустановки на відстань не менше трьох найбільших діагоналей майданчика електроустановки.

2.4 Визначення корозійних характеристик ґрунту

Для оцінки корозійної активності ґрунту слід використовувати результати досліджень, проведених для інших цілей, або наявні карти засоленості ґрунтів.

Відбір проб ґрунту для оцінки корозійної дії на елементи заземлювачів проводиться в зонах сильної і дуже сильної корозії

Проби ґрунту відбираються в місцях виконання основних і допоміжних ВЕЗ. Для оцінки корозійної активності ґрунту визначаються наступні

характеристики: питомий опір ґрунту по даним ВЕЗ; природна вологість ґрунту w ; ступінь насичення K_w , концентрація ґрунтового розчину C . Для цих цілей рекомендується відбирати проби ґрунту не порушеної структури. Відбір проб ґрунту проводиться з можливої глибини закладання горизонтальних заземлювачів. Спеціального відбору проб ґрунту для вертикальних заземлювачів не вимагається.

Якщо на майданчик електроустановки передбачається завозити насипний ґрунь, відбираються проби насипного ґрунту порушеної структури.

Висновки до другого розділу.

1. На стадії передпроектних досліджень отримують інформацію, необхідну для проектування ЗП з урахуванням реальних умов в зоні розташування електричних станцій і підстанцій.

2. Оцінка впливу поля блукаючих струмів виконується при питомому опорі верхнього шару ґрунту менше 100 Ом·м і при розташуванні майданчиків проєктованих електроустановок ближче 30км від залізних доріг, електрифікованих на постійному струмі, а також за наявності поблизу інших джерел постійного струму.

3. Для оцінки корозійної активності ґрунту слід використовувати результати досліджень, проведених для інших цілей, або наявні карти засоленості ґрунтів.

3 МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ЗП

3.1. Завдання розрахунку і конструювання

Головною метою розрахунку є вибір конструктивних параметрів штучного заземлювача, при яких ЗП електроустановок задовольняє вимогам прийнятого нормування, має необхідну довговічність і мінімальні витрати на споруду. До таких конструктивних параметрів відносяться: габаритні розміри штучного заземлювача; місця прокладки повздовжніх і поперечних горизонтальних заземлювачів; довжина, кількість і місця встановлення вертикальних заземлювачів; переріз заземлювачів і заземлюючих провідників; глибина закладання горизонтальних заземлювачів.

Окрім визначення конструктивних параметрів штучного заземлювача в процесі розрахунку повинна бути отримана додаткова інформація, що містить необхідні дані для вибору заходів щодо захисту від винесення небезпечних потенціалів, захисту обладнання електроустановок від грозових перенапруг і для експлуатаційного контролю ЗП. До таких даних відносяться:

1. Сезонний коефіцієнт опору для приведення вимірних значень опору розтікання ЗП до розрахованих сезонних умов, коли вимірювання проводяться не в розрахунковий сезон.

2. Еквівалентний питомий опір землі для оцінки відповідності співвідношення вимірних значень опору розтікання ЗП його нормованим значенням в разі великих питомих опорів землі (ПУЕ 1-7-69).

3. Еквівалентний питомий опір землі для вибору заходів щодо блискавкозахисту обладнання електроустановок (ПУЕ 4-2-136, 4-2-137, 4-2-139, 4-2-144).

4. Допустимий розрахунковий опір ЗП, коли розрахунок проводиться з урахуванням можливості підвищення мінімального опору (ПУЕ 1-7-69).

5. Розподіл потенціалів за межами електроустановки, необхідного для розрахунку протяжних природних заземлювачів і винесення по них потенціалів.

6. Сезонний коефіцієнт опору представляє собою відношення розрахункових значень опору розтікання ЗП, отриманих для сезонів найбільшого і найменшого значень питомого опору верхніх шарів землі.

Еквівалентний питомий опір землі для оцінки відповідності вимірних значень опору розтікання ЗП його нормованим значенням визначається по розрахунковому опору штучного заземлення, отриманому для сезону з найбільшим значенням питомого опору верхніх шарів землі.

Еквівалентний питомий опір землі для вибору блискавкозахисних заходів визначається по розрахунковому значенні опору штучного заземлювача, відповідного літньому сезону.

Результати розрахунку проводяться на кресленні ЗП і в відповідному розділі пояснювальної записки до проекту підстанції або станції.

Головною метою конструювання є розробка робочих креслень штучного і виносного заземлювачів на основі результатів розрахунку ЗП і з урахуванням вимог, представлених до їх конструктивного виконання.

3.2 Основні положення розрахунку

На стадії розрахунку визначаються основні параметри, необхідні для конструювання ЗП, тому розрахунок являється найбільш відповідальним етапом процесу проектування ЗП. Принципове значення при цьому набуває точність розрахунку, оскільки від цього перш за все залежить економічність рішення, що приймається по конструктивному виконанню ЗП.

Точність розрахунку ЗП залежить від двох основних факторів: точності вихідної інформації для розрахунку і точності методів розрахунку. Ця

обставина повинна враховуватися при організації і проведенні передпроектних досліджень і при виборі методів розрахунку ЗП.

Найбільш важливими параметрами вихідної інформації для розрахунку є: параметри електричної структури землі; розрахунковий струм для визначення напруги дотику і напруги на ЗП; вхідний опір природних заземлювачів або необхідні для його визначення дані.

За відсутності інформації про геоелектричну структуру і розрахунковий струм розрахунок ЗП несе чисто формальний характер і не повинен виконуватися. В цьому випадку при конструюванні ЗП виконується тільки базова конструкція з урахуванням того, що у разі необхідності електричні характеристики ЗП будуть доведені до норми на стадії будівництва і здачі в експлуатацію електроустановки. При відсутності інформації про природні заземлення розрахунок несе орієнтовний характер, що повинно враховуватися, коли по результатам розрахунку вимагається істотне розширення природного заземлювача або виконання свердловинних і виносних заземлювачів. В цьому випадку, як і за відсутності інформації про геоелектричну структуру і розрахунковий струм, виконується тільки базова конструкція.

Для підвищення точності розрахунку ЗП повинні застосовуватися методи розрахунку складних заземлювачів з урахуванням реального розташування їх елементів. Характеристика рекомендованих методів, і програм розрахунку ЗП електроустановок приведена в Додатку Б.

Розрахунок ЗП виконується з урахуванням перспективи розвитку станцій і підстанцій. Якщо на стадії проектування станцій і підстанцій можна виділити періоди в їх експлуатації (пусковий період, повний розвиток і проміжні етапи), при яких розрахунковий струм замикання на землю і час його дії, а також розміри штучних заземлювачів можуть приймати різні значення, розрахунок ЗП виконується для кожного з таких періодів.

По результатам розрахунку повинно бути прийнято рішення по виконанню ЗП для пускового періоду і подальшого розвитку підстанції, і розподільчого пристрою станції.

Розрахунок ЗП електроустановок включає два основні етапи: перший - підготовка початкових даних; другий – розрахунок штучного і виносного заземлювачів.

На стадії підготовки вихідних даних вирішуються наступні часткові задачі: приведення вимірних параметрів електричної структури землі до розрахункових сезонних умов; визначення розрахункового струму; розрахунок природних заземлювачів; вибір розрахункової моделі штучного і виносного заземлювачів. При використанні методів розрахунку ЗП, враховуючих розподіленні параметри заземлювачів, часткова задача розрахунку природних заземлювачів може бути включена в етап розрахунку штучного заземлювача.

3.3 Підготовка вихідних даних

3.3.1 Розрахункові параметри електричної структури землі.

Розрахунок проводиться для тих найбільш несприятливих сезонних умов, при яких електричні характеристики ЗП приймають найбільше значення в результаті зміни питомого опору верхніх шарів землі.

Ці сезонні зміни враховуються вибором розрахункового сезону, до якого повинні бути приведені вимірні параметри геоелектричної структури. Приведення вимірних параметрів геоелектричної структури до розрахункових сезонних умов проводяться з допомогою сезонного коефіцієнта питомого опору землі і глибини сезонних змін.

Сезонний коефіцієнт встановлює ті максимальні зміни значення питомого опору верхніх шарів землі по відношенню до його значення при

вимірюванні, яке в заданій кліматичній зоні може мати місце протягом року. Для районів території з глибиною промерзання ґрунтів більше 0,5м до розрахункового сезону відноситься період найбільшого промерзання верхніх шарів землі (зимовий період); для південних районів - період найбільшого просихання верхніх шарів землі (літній період).

При розрахунку напруги дотику визначення коефіцієнта, що враховує падіння напруги на опорі розтікання струму з ніг людини, проводиться при найменшому опорі поверхневого шару землі (Додаток Г). При цьому розрахунок опору розтікання стоп ніг людини проводиться для сезону, відповідному найменшому значенню питомого опору верхніх шарів землі.

3.3.2 Визначення розрахункового струму.

Максимальне значення розрахункового струму може мати місце як при замиканні на ВРП високої напруги, так і при замиканні на лінії, що відходить. Якщо сума струмів всіх ліній, що живлять коротке замикання (приведених до напруги, на якій відбулося к.з.), менше половини струму к.з., то в якості розрахункового приймається режим замикання на лінії, що відходить, поблизу електроустановки і за розрахунковий струм приймається сума струмів нейтралей трансформаторів (цей режим характерний для потужних електричних станцій). Якщо сума струмів всіх ліній, що живлять коротке замикання, більше половини струму к.з., то в якості розрахункового вибирається сума струмів лінії, що живлять к.з., приведених до ступенів напруги своїх ліній (цей режим характерний для розподільчої підстанції). При розрахунку струмів враховується також наявність приєднаної системи "трос-опори".

При розрахунку напруги на ЗП електроустановок напругою 110/35-10-6 кВ в якості розрахункового струму приймається струм короткого замикання на підстанції з відрахуванням струму нейтралі трансформатора у разі її

заземлення і струму, наведеного в тросі ПЛ у разі під'єднання його до ЗП підстанції. Рекомендації по визначенні розрахункового струму для даного класу електроустановок приведені в Додатку Д.

При розрахунку напруги дотику на робочих місцях в електроустановках напругою 35-110кВ в якості розрахункового струму приймається струм короткого замикання для даних робочих місць. Якщо на станції і підстанції є розподільчі пристрої різної номінальної напруги для кожного з них розрахунковий струм має своє значення. В випадку, коли це дозволяє використаний метод розрахунку, допускається при розрахунку напруги дотику враховувати всі струми, які входять в ЗП (струм в точці к.з., струми нейтралей, струми в приєднаних блискавкозахисних тросах ПЛ).

При розрахунку напруги дотику на решті території електроустановки в якості розрахункового струму приймається розрахунковий струм для визначення напруги на ЗП.

При розрахунках термічної стійкості в якості розрахункового струму, слід приймати струм однофазного короткого замикання на електроустановці. Якщо на станції і підстанції є розподільчі пристрої різних номінальних напруг, то для кожного з них рекомендується визначати свій розрахунковий струм.

Розрахунковий струм для електроустановок 3-35 кВ вибирається в відповідності до ПУЕ 1-7-58.

3.3.3 Природні заземлювачі.

При проектуванні ЗП підстанцій і розподільчих пристроїв станцій в якості природних заземлювачів повинні використовуватися: система "трос-опори"; кабелі з металевією оболонкою чи бронею; трубопроводи; рейкові шляхи; обсадні труби розвідувальних і експлуатаційних свердловин (ПУЕ 1-

7-70). При розрахунку ЗП виносні заземлювачі використовуються як природні.

В якості вихідної інформації при розрахунку ЗП використовується вхідний опір природних заземлювачів. При використанні методів розрахунку ЗП, що враховують розподілені параметри заземлювачів, вказані природні заземлювачі можуть включатися в число елементів розрахункової моделі штучного заземлювача. Тоді на етапі підготовки початкових даних визначення їх вхідного опору не вимагається.

Вхідний опір існуючих природних заземлювачів вимірюється на стадії передпроектних досліджень. Якщо неможливо виконати це вимірювання, вхідний опір визначається розрахунковим шляхом. Розрахунковим шляхом визначається також і вхідний опір комунікацій, що проектуються, які можуть бути використані в якості природних заземлювачів, і вхідний опір виносних заземлювачів.

Природні і виносні заземлювачі використовуються для зниження опору ЗП, тому їх вхідний опір визначається по розрахунковому сезону, що відповідає найбільшому питомому опору верхніх шарів землі.

Рекомендації по розрахунку природних заземлювачів приведені в Додатку Е.

3.3.4 Розрахункові моделі штучного і виносного заземлювачів.

Реальний заземлювач замінюється розрахунковою моделлю у тих випадках, коли обмежена можливість програми розрахунку ЗП по кількості використаних елементів заземлювача або коли знадобиться зменшити час розрахунку. При використанні рекомендованих методів і програм розрахунку ЗП обидва вказані фактори мають важливе значення, тому вибір розрахункової моделі природного і виносного заземлювача рекомендується проводити з одночасним урахуванням обох факторів.

При виборі розрахункової моделі заземлювача повинні враховуватися два основні критерії: перший - число елементів розрахункової моделі повинно бути найменше; другий – число конгруентних пар елементів розрахункової моделі повинно бути найбільшим.

Під параметрами елементів розрахункової моделі розуміються пари елементів, взаємне розташування і розміри яких однакові або приблизно однакові.

В розрахунковій моделі по можливості повинні бути збережені елементи заземлювача, які здійснюють визначаючий вплив на величину електричних характеристик заземлювача.

При розрахунку опору розтікання ЗП і напруга на ЗП такими елементами штучного заземлювача є:

1. Заземлювачі, прокладені по периметру базової конструкції;
2. Елементи зовнішньої частини штучного заземлювача;
3. Заземлювачі, прокладені в місцях розташування заземлювальних нейтралей силових трансформаторів і короткозамикачів;
4. Вертикальні елементи, розташовані по периметру штучного заземлювача;
5. Інші горизонтальні і вертикальні елементи базової конструкції, включаючи залізобетонні фундаменти, в кількості, визначуваній можливостями розрахунку. Ці елементи вибираються з базової конструкції так, щоб вони рівномірно розміщувалися за її площею.

При розрахунку напруги дотику окрім вказаних елементів повинні зберігатися елементи базової конструкції, розташовані поблизу міст розрахунку напруги дотику.

При розрахунку опору ЗП і напруги на ЗП розрахункова модель може вибиратися так, щоб за площею вона була рівна реальному заземлювачу. Це умова допускає можливість в обумовлених випадках, вибирати розрахункову модель у вигляді симетричного заземлювача, що дозволяє

збільшити число конгруентних пар елементів розрахункової моделі і тим самим скоротити число елементів, використовуваних при розрахунку. Рекомендується системою симетричних елементів представляти в розрахунку зовнішню частину штучного заземлювача при його розширенні за межі базової конструкції, а також виносний заземлювач.

Вертикальні елементи розрахунковій моделі розміщуються вздовж його периметра на рівному один від одного відстані, а також в місцях заземлення громовідводів, розрядників і в місцях установки залізобетонних фундаментів. Діаметр вертикальних елементів відповідних залізобетонним стійкам під устаткування, приймається рівним діаметру арматурного каркаса.

Рекомендація по вибору відстаней між вертикальними елементами розрахунковій моделі, встановлюваних по її периметру приведені у Додатку Ж.

Для довжини вертикальних елементів, що встановлюються по периметру розрахункової моделі, приймаються три характеристики градації: мінімальна довжина, максимальна довжина і ефективна довжина. Мінімальна довжина перевищує потужність шару сезонних змін на 1м. Максимальна довжина приймається з урахуванням можливості установки вертикальних заземлювачів при спорудженні ЗП. Ефективна довжина вибирається з урахуванням того, щоб вертикальний заземлювач перетинав або входив в шари з низьким питомим опором. Характерні градації довжин використовуються для спрощення розрахунку оптимізаційної задачі розрахунку.

Перетин елементів розрахункової моделі штучного і виносного заземлювачів вибирається, виходячи з вимог, що пред'являються до їх механічної і корозійної стійкості, а для моделі штучного заземлювача електроустановок напругою 110 кВ крім того, і вимог, що пред'являються до термічної стійкості.

На розрахунковій моделі штучного заземлювача помічаються контрольні точки в 1м від елементів розрахункової моделі у місцях дотику. Кількість місць дотику визначається можливістю розрахунку. При цьому обов'язково повинні бути вказані місця дотику у приєднаній до ЗП огорожі, у силових трансформаторів, реакторів, короткозамикачів, а також у іншого устаткування, розташованого на периферії базової конструкції.

3.4 Розрахунок штучного і виносного заземлювача

Розрахунку штучного заземлювача передуює етап підготовки початкових даних. Перед початком розрахунку передбачається, що всі природні заземлювачі приєднані до штучного заземлювача.

Розрахунок штучного заземлювача електроустановок напругою 35-110 кВ рекомендується починати з вибору його конструкції по критерію допустимої напруги на ЗП. Отримані при цьому результати розрахунку потім використовуються при розрахунку штучного заземлювача по критерію допустимої напруги дотику для опору розтікання.

Розрахунок штучного заземлювача по критерію допустимої напруги на ЗП включає три характерних етапи:

- розрахунок при розміщенні штучного заземлювача в межах базової конструкції;
- розрахунок при розміщенні штучного заземлювача в межах огорожі;
- розрахунок при розширенні штучного заземлювача за межі огорожі.

На кожному етапі виконуються опорні варіанти розрахунку, по яким визначаються можливості отримання потрібних параметрів ЗП в даному варіанті, і додаткові варіанти розрахунку, по яких вибирається оптимальна конструкція штучного заземлювача.

Рішення задачі розрахунку закінчується на тому етапі, опорному варіанті або додатковому варіанті, при якому напруга на ЗП досягає значення, найбільш близького (знизу) до нормованого.

Якщо на першому етапі розрахунку напруга на ЗП більш ніж в 1,5 разу вище нормованого значення, то другий етап може не виконуватися.

Перший етап. На першому етапі рекомендується послідовно виконувати наступні спірні варіанти розрахунку:

- розрахунок базової конструкції штучного заземлювача;
- розрахунок базової конструкції з вертикальними заземлювачами ефективною довжини;
- розрахунок базової конструкції з вертикальними заземлювачами максимальної довжини.

Якщо рішення є при ефективній довжині вертикальних заземлювачів, то вибирається їх оптимальна кількість шляхом виконання розрахунку додаткових варіантів при зменшенні числа вертикальних елементів розрахункової моделі.

Якщо рішення є при максимальній довжині вертикальних заземлювачів, то визначається оптимальна розрахункова довжина заземлювачів шляхом виконання додаткових варіантів розрахунку при її менших довжинах, але не менших, ніж мінімальна.

Додаткові варіанти розрахунку по визначенню оптимальної кількості вертикальних заземлювачів і її оптимальної розрахункової довжини виконуються тільки в тих випадках, коли рішення виходить в бік більшого заниження розрахункового значення напруги на ЗП в порівнянні з нормованою величиною.

Другий етап. На другому етапі рекомендується послідовно виконувати наступні опорні варіанти:

- розрахунок при максимальному розширенні штучного заземлювача в межах огорожі;

- розрахунок при максимальному розширенні штучного заземлювача в межах огорожі з вертикальними заземлювачами ефективної довжини;

- розрахунок при максимальному розширенні штучного заземлювача в межах огорожі з вертикальними заземлювачами максимальної довжини.

При максимальному розширенні штучного заземлювача відстань від його огорожі повинна бути не менше 2м. Обмеження відстані між заземлювачем і огорожею вводиться для можливого виконання вимог ПУЕ до прокладки горизонтальних заземлювачів в випадку, коли огорожа не приєднується до ЗП (ПУЕ 1-7-54).

Якщо рішення існує при ефективній чи максимальній довжині вертикальних заземлювачів, то аналогічно першому етапу виконується вибір оптимальної кількості і оптимальної розрахункової довжини заземлювачів шляхом виконання додаткових варіантів розрахунку .

Третій етап. На третьому етапі рекомендується послідовно виконувати наступні опорні варіанти:

- розрахунок при мінімальному розширенні штучного заземлювача за межі огорожі;

- розрахунок при мінімальному розширенні штучного заземлювача за межі огорожі з вертикальними заземлювачами ефективної довжини;

- розрахунок при мінімальному розширенні штучного заземлювача за межі огорожі з вертикальними заземлювачами максимальної довжини;

- розрахунок при максимальному розширенні штучного заземлювача за межі огорожі з ефективною довжиною вертикальних заземлювачів.

При мінімальному розширенні штучного заземлювача за межі огорожі відстань від нього до огорожі повинна бути рівною 1м. Така відстань вибирається з метою вирівнювання потенціалів у огорожі, коли на даному етапі розрахунку може бути отримано розв'язок поставленої задачі (ПУЕ 1-7-54).

Якщо розв'язок існує при мінімальному розширенні штучного заземлювача з ефективною або максимальною довжиною вертикальних

заземлювачів, то аналогічно першому етапу проводиться вибір оптимальної кількості і оптимальної розрахункової довжини заземлювачів. Це відбувається шляхом виконання додаткових розрахунків. Якщо розв'язок існує при максимальному розширенні штучного заземлювача з ефективною довжиною вертикальних заземлювачів, то вибираються оптимальні розміри розширеної частини штучного заземлювача шляхом виконання додаткових розрахунків при ефективній довжині вертикальних заземлювачів або без вертикальних заземлювачів. У разі відсутності розв'язку при максимальному розширенні штучного заземлювача з ефективною довжиною вертикальних заземлювачів, проводиться розрахунок при їх максимальній довжині.

Якщо неможливо отримати розв'язок, на третьому етапі проводиться розрахунок з використанням свердловинного або виносного заземлення. В цьому випадку свердловинний заземлювач включається в розрахункову модель штучного заземлювача, а виносний – розглядається як природний. Сам процес розрахунку штучного заземлювача виконується в такому самому порядку.

Розрахунок виносного заземлювача виконується по заданій його конструкції максимальних розмірів при ефективній довжині вертикальних елементів. Вибір варіанту свердловинного або виносного заземлювача проводиться з урахуванням технічної можливості і доцільності їх виконання і вартості кожного із варіантів.

Після завершення розрахунку штучного заземлювача в електроустановках за критерієм допустимої напруги на ЗП, виконується розрахунок за критерієм напруги дотику. При цьому використовується конструкція штучного заземлювача, отримана в результаті його розрахунку за критерієм допустимої напруги на ЗП.

При розрахунку штучного заземлювача по напрузі дотику послідовно виконують наступні розрахунки:

- розрахунок вихідної конструкції штучного заземлювача;
- розрахунок вихідної конструкції штучного заземлювача з використанням

спеціальних заходів для зниження напруги дотику.

Розрахунок ЗП електроустановок на допустимий опір розтікання проводиться в послідовності, що аналогічна розрахунку за критерієм допустимої напруги на ЗП.

Для підстанцій напругою 3-35 кВ при наявності інформації про геоелектричну структуру, яка визначається методом ВЗЕ (виносний заземлювальний електрод), рекомендується послідовно виконувати тільки перший етап розрахунку. В окремих випадках необхідно використовувати третій етап розрахунку. Якщо отримано інформацію, за даними буріння, рекомендується виконувати тільки перший варіант розрахунку. У разі відсутності розв'язку, необхідно приводити до норми електричні характеристики ЗП на стадії будівництва або здачі в експлуатацію підстанції.

Після вибору конструкції штучного заземлювача визначається сезонний коефіцієнт опору і еквівалентний питомий опір землі.

3.5 Конструювання заземлюючих пристроїв підстанцій і розподільчих пристроїв станцій

Конструювання ЗП підстанцій і розподільчих пристроїв станції зводяться до конструювання штучного і виносного заземлювачів, яке виконується на підставі рекомендацій по їх будові і коректується за результатами розрахунку. В якості розрахункових даних для конструювання заземлювачів використовуються: їх габаритні розміри; відстань між поздовжніми і поперечними горизонтальними заземлювачами; довжина, кількість і місце встановлення вертикальних заземлювачів; переріз заземлювача і заземлюючих провідників; глибина закладання горизонтальних заземлювачів.

Конфігурація штучного заземлювача визначається: необхідною площею під заземлювач, конфігурацією базової конструкції і конфігурацією огорожі

електроустановки. Конфігурація виносного заземлювача визначається вільною територією в зоні його спорудження.

На кресленні приводяться узагальнені дані по розрахунку матеріалів на спорудження штучного і виносного заземлювачів. До таких даних відносяться: довжина, переріз, кількість і маса горизонтальних заземлювачів з вказівкою на їх застосуванням; довжина, діаметр, кількість і маса вертикальних заземлювачів з вказівкою на їх застосування.

Окрім конструкції штучного і виносного заземлювачів, креслення повинно містити необхідну інформацію для здійснення експлуатаційного контролю ЗП, а також вибір заходів по приведенню до норми електричних характеристик.

Для цього при проектуванні ЗП по напрузі дотику на кресленні зазначається:

1. Допустима напруга на ЗП;
2. Розрахунковий струм для визначення напруги на ЗП;
3. Сезонний коефіцієнт опору ЗП;
4. Допустима напруга дотику на робочих місцях і на решті території;
5. Розрахункові струми для робочих місць і решти території;
6. Дані ВЗЕ;
7. Еквівалентний питомий опір землі;
8. План підземних металевих комунікацій в зоні розташування підстанцій (зображується на ситуаційному плані підстанції).

При проектуванні ЗП по опору розтікання на кресленні зазначається:

1. Допустима напруга на ЗП (тільки для електроустановок напругою 35-110 кВ);
2. Допустимий опір розтікання ЗП;
3. Розрахунковий струм для визначення напруги на ЗП;
4. Сезонний коефіцієнт опору ЗП;
5. Дані ВЗЕ;

6. Еквівалентний питомий опір землі;
7. План підземних металевих комунікацій в зоні розташування підстанцій.
На кресленні зазначаються найбільш важливі особливості монтажу ЗП.

Висновки до третього розділу.

1. Головною метою розрахунку є вибір конструктивних параметрів штучного заземлювача, при яких ЗП електроустановок задовольняє вимогам прийнятого нормування, має необхідну довговічність і мінімальні витрати на споруду.

2. До конструктивних параметрів заземлювального пристрою відносяться: габаритні розміри штучного заземлювача; місця прокладки повздожних і поперечних горизонтальних заземлювачів; довжина, кількість і місця встановлення вертикальних заземлювачів; переріз заземлювачів і заземлюючих провідників; глибина закладання горизонтальних заземлювачів.

3. Точність розрахунку ЗП залежить від двох основних факторів: точності вихідної інформації для розрахунку і точності методів розрахунку. Ця обставина повинна враховуватися при організації і проведенні передпроектних досліджень і при виборі методів розрахунку ЗП.

4. Найбільш важливими параметрами вихідної інформації для розрахунку є: параметри електричної структури землі; розрахунковий струм для визначення напруги дотику і напруги на ЗП; вхідний опір природних заземлювачів або необхідні для його визначення дані.

5. Для оцінки корозійної активності ґрунту слід використовувати результати досліджень, проведених для інших цілей, або наявні карти засоленості ґрунтів.

4 ПРИКЛАДИ ПРОЕКТУВАННЯ ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ І ПІДСТАНЦІЙ

4.1 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 (4.1) професора Дуайта (для одиночного електроду)

$$R = \rho / 2\pi L \cdot \frac{(\ln 4L) - 1}{r}, \quad (4.1)$$

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

$$R_{zp} = \rho \cdot L / A, \quad (4.2)$$

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

4.2 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 (4.3)

$$R_3 \leq \frac{250}{I_{\text{CC}}} = \frac{250}{6} = 41,66 \text{ Ом.} \quad (4.3)$$

Опір пристрою заземлення для установок 10 кВ за формулою (4.4)

$$R_3 \leq \frac{250}{I_3} = \frac{250}{20} = 12,5 \text{ Ом.} \quad (4.4)$$

Опір пристрою заземлення нейтралі обмотки 0,4 кВ трансформатора не повинен бути більше 4 Ом. Отже остання умова є вирішальною для розрахунків (4.5):

$$R_3 \leq 4 \text{ Ом.} \quad (4.5)$$

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. 4.1).

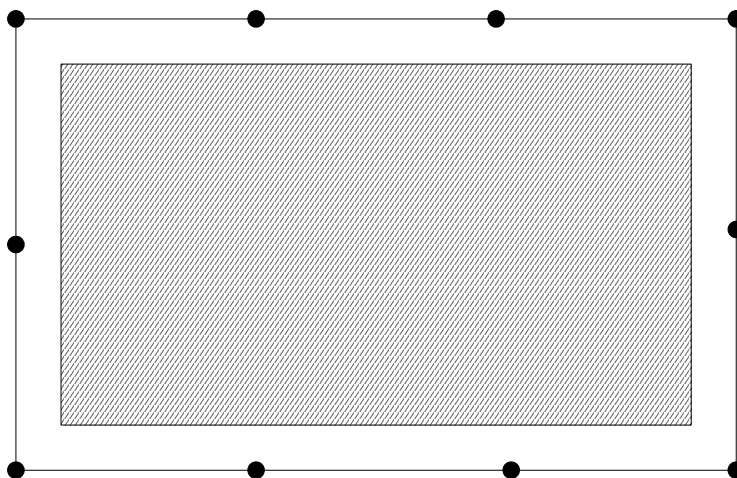


Рисунок 4.1 – Розташування контуру заземлювального пристрою

Визначаємо опір одного вертикального стержня за формулою (4.5)

$$R_{ст.од} = \frac{0,0366 \cdot \rho_{розр.}}{\ell} \times \left(\lg \frac{2\ell}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t + \ell}{4t - \ell} \right), \quad (4.5)$$

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

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 4.1 – 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

$$n_B = \frac{R_{ст.од}}{R_3 \cdot \eta_B}, \quad (4.6)$$

де η_B - коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів, який залежить від відстані a між ними, їх довжини l та кількості n_B (таблиця 4.2).

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

Таблиця 4.2 - 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)

$$R_{Г} = \frac{0,366 \cdot \rho_{розр.г}}{l} \lg \frac{2l}{b \cdot t}, \quad (4.6)$$

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

$$R_{\Gamma} = \frac{0,366 \cdot 3 \cdot 10}{100} \lg \frac{2 \cdot 100^2}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7} = 1,0981 \lg \frac{2 \cdot 100000 \cdot 10^3}{40 \cdot 0,7} =$$

$$= 1,0981 \lg 714,285 \cdot 10^3 = 6,427 \text{ Ом.}$$

З урахуванням коефіцієнта використання η_{Γ} опір з'єднувальної штаби (4.7):

$$R'_{\Gamma} = \frac{R_{\Gamma}}{\eta_{\Gamma}}, \quad (4.7)$$

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

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

Значення коефіцієнта η_{Γ} визначаємо з таблиці 4.3. Так для $a/l=2$, $n=10$ шт. значення η_{Γ} дорівнює 0,4 в.о.

Таблиця 4.3 – 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 (4.8):

$$R'_{\text{В}} = \frac{R'_{\Gamma} R_3}{R'_{\Gamma} - R_3}, \quad (4.8)$$

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

Уточнена кількість стержнів

$$n'_B = \frac{R_{cm.од}}{R'_B \cdot \eta'_B}, \quad (4.9)$$

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

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. 4.2)

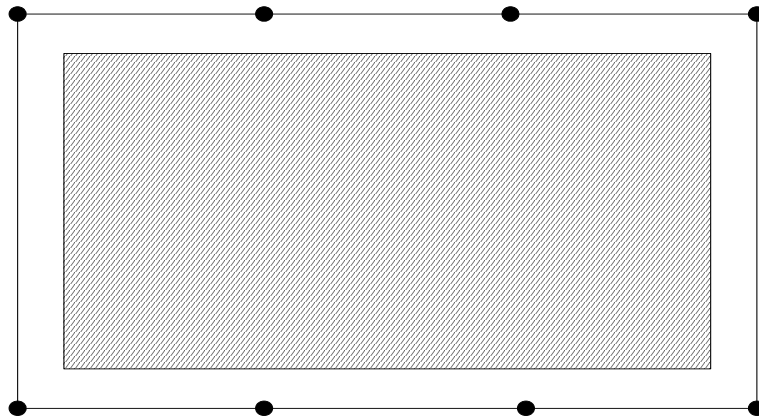


Рисунок 4.2 – Розташування контуру заземлювального пристрою

4.3 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:

$$U_l = U_{dot.} - U_c, \quad (4.10)$$

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

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

$$I_l = \frac{U_{\text{дот.}} - U_c}{R_l} \quad (4.11)$$

Таблиця 4.4 – 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:

$$U_{\text{дот.}} \leq R_l I_l + U_c \quad (4.12)$$

або

$$U \leq R_l I_l + 1,5 I_l \rho_{\text{В.Ш.}} \quad (4.13)$$

Рекомендовані для розрахунків допустимі напруги дотику приведені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – 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 (4.14)

$$\tau_B = t_{\text{р.з.}} + t_{\text{в.в.}}, \quad (4.14)$$

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 $U_3 > 5 \dots 10$ кВ, то необхідно взяти 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. 4.3, а, б) замінюється розрахунковою квадратною моделлю (рис. 4.4, 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 .

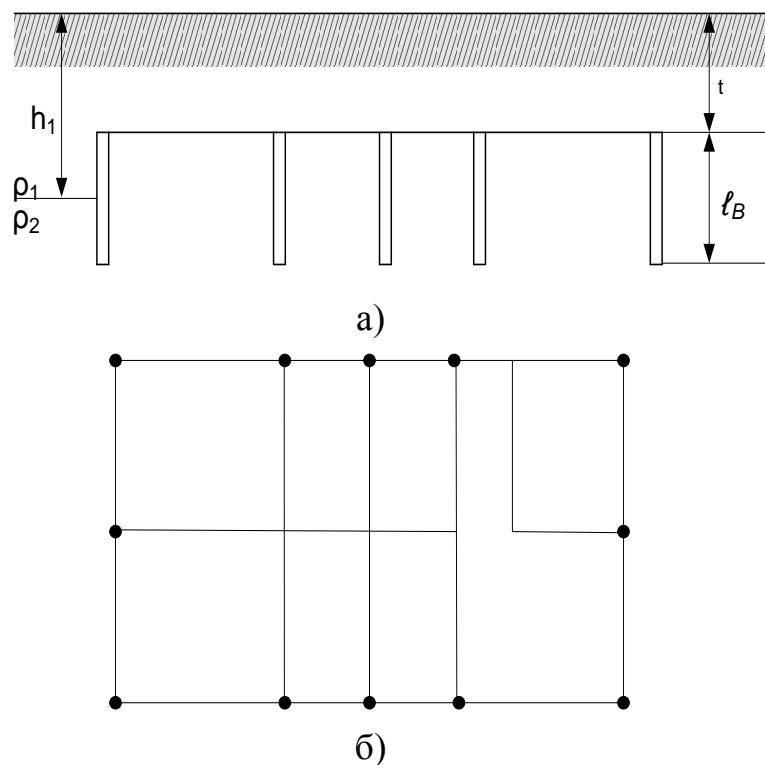


Рисунок 4.3 – Складний заземлювач

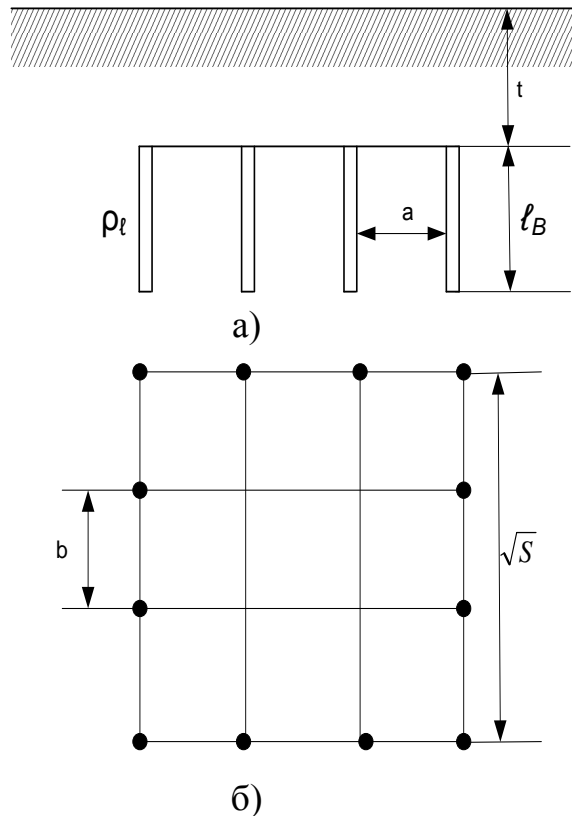


Рисунок 4.4 – Розрахункова квадратна модель складного заземлювача
 Величини ρ_1 , ρ_2 , h , беруть на основі вимірювань з урахуванням
 кліматичного коефіцієнта $K_{кл}$.

Розрахунок проводять у такій послідовності.

1. Визначають напругу на заземлювачі

$$U_3 = \frac{U_{\text{дом.дон}}}{K_{\text{дом}}}, \quad (4.15)$$

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

$$K_{\text{дом}} = \frac{M_\beta}{\left(\frac{l_B L_r}{a\sqrt{S}}\right)^{0,45}}, \quad (4.16)$$

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 4.6 – 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 :

$$\beta = \frac{R_l}{R_l + R_c}. \quad (4.17)$$

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

Оскільки (4.18)

$$U_3 = R_3 I_3, \quad (4.18)$$

то опір заземлюючого пристрою повинен бути, Ом:

$$R_{з,доп} \leq \frac{U_3}{I_3}, \quad (4.19)$$

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

Визначають загальний опір природних заземлювачів, Ом [2]:

$$R_{пр} = \frac{1}{\frac{1}{R_{каб}} + \frac{1}{R_{ф}} + \frac{1}{R_{с.т.о}}}, \quad (4.20)$$

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]:

$$R_3 = A \frac{\rho_\ell}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_\ell}{L_r + L_B}, \quad (4.21)$$

де $A = \left(0,444 - 0,84 \frac{\ell_B + t}{\sqrt{S}} \right)$ за умови $0 \leq \frac{\ell_B + t}{\sqrt{S}} \leq 0,1$; $A = \left(0,358 - 0,25 \frac{\ell_B + t}{\sqrt{S}} \right)$

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.

Таблиця 4.7 – Еквівалентний питомий опір ρ_ℓ для сіток з вертикальними заземлювачами

ρ_1/ρ_2	a/ℓ_B	Відносна товщина шару $(h_1-t)/\ell_B$						
		0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	0,95
1	1-4	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1,02	1,03	1,05	1,1	1,13	1,3	1,4
	2	1,03	1,07	1,1	1,13	1,15	1,32	1,5
	4	1,05	1,17	1,13	1,15	1,20	1,38	1,6
5	1	1,05	1,1	1,15	1,22	1,35	1,86	2,4
	2	1,22	1,26	1,35	1,43	1,54	2,12	2,7
	4	1,33	1,41	1,50	1,65	1,83	2,6	3,5
10	1	1,1	1,2	1,28	1,38	1,62	2,5	3,7
	2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,75	5,5
	4	1,52	1,7	1,88	2,08	2,33	3,52	6,0
0,125	0,5...4	0,95	0,9	0,8	0,7	0,62	0,54	0,52
0,25	0,5...4	0,97	0,93	0,85	0,78	0,71	0,65	0,64
0,5	0,5...4	0,99	0,96	0,92	0,88	0,83	0,79	0,77

Розрахувати пристрій заземлення для ВРУ напругою 110/10 кВ. Площа ВРУ 15×25 м². Задано $\rho_1=400 \text{ Ом}\cdot\text{м}$; $\rho_2=80 \text{ Ом}\cdot\text{м}$; $h_1=2 \text{ м}$; $t=0,7 \text{ м}$; $t_{p3}=0,1$; $t_{BB}=0,1 \text{ с}$; струм

замикання на землю при однофазному короткому замиканні на підстанції, яка розглядається, $I_3=2 \text{ кА}$. Природних заземлювачів нема. Нейтраль обмотки 110 кВ трансформатора заземлена безпосередньо, нейтраль обмотки 10 кВ – ізольована від землі.

Для $t_6=t_{p3} + t_{BB}=0,1+0,1=0,2 \text{ с}$ допустима напруга дотику $U_{\text{дон.дон}}=400 \text{ В}$. Для визначення напруги на заземлювачі U_3 необхідно знайти коефіцієнт напруги дотику:

$$K_{\text{дон.}} = \frac{M_\beta}{\left(\frac{l_B L_r}{a\sqrt{S}}\right)^{0,45}} = \frac{0,75 \cdot 0,625}{\left(\frac{5 \cdot 190}{5\sqrt{15 \cdot 25}}\right)^{0,45}} = 0,1678, \quad (4.22)$$

де $M=0,75$ при $\rho_1/\rho_2=400/80=5$,

$$\beta = \frac{R_l}{R_l + R_c} = \frac{1000}{1000 + 1,5 \cdot 400} = 0,625; L_r = 190 \text{ м}. \quad (4.23)$$

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 1,5 \cdot 400} = 0,625; L_r = 190 \text{ м}.$$

Напруга на заземлювачі (4.24)

$$U_3 = \frac{U_{\text{дон.дон}}}{K_{\text{дон.}}} \quad (4.24)$$

$$U_3 = \frac{400}{0,1678} = 2383,8 \text{ В}$$

Знаходиться в межах допустимої напруги (менша 10 кВ).

Допустимий опір пристрою заземлення

$$R_{\text{з,доп}} = \frac{U_3}{I_3} = \frac{2383,8}{2000} = 1,19 \text{ Ом}. \quad (4.25)$$

$$R_{з,доп} = \frac{2383,8}{2000} = 1,19 \text{ Ом.}$$

Дійсний план пристрою заземлення перетворюємо в розрахункову модель із стороною

$$\sqrt{S} = \sqrt{15 \cdot 25} = 19,36 \text{ м.}$$

Кількість комірок по стороні квадрата (4.26)

$$m = \frac{L_r}{2\sqrt{S}} - 1 \quad (4.26)$$

$$m = \frac{190}{2 \cdot 19,36} - 1 = 3,9.$$

Приймаємо $m=4$

Довжина штаби у розрахунковій моделі (4.27)

$$L'_r = 2\sqrt{S}(m+1) = 2 \cdot 19,36(4+1) = 193,6 \text{ м.} \quad (4.27)$$

$$L'_r = 2 \cdot 19,36(4+1) = 193,6 \text{ м.}$$

Довжина сторін комірки

$$b = \frac{19,36}{4} = 4,84 \text{ м.}$$

Кількість вертикальних заземлювачів по периметру контуру за умови $a/\ell_B=1$:

$$n = \frac{4\sqrt{S}}{\ell_B} = \frac{19,36 \cdot 4}{5} = 15,49 \text{ м.} \quad (4.28)$$

$$n = \frac{19,36 \cdot 4}{5} = 15,49 \text{ м.}$$

Приймаємо $n_B=16$.

Загальна довжина вертикальних заземлювачів (4.29)

$$L_B = \ell_B n_B = 5 \cdot 16 = 80 \text{ м.} \quad (4.29)$$

$$L_B = 5 \cdot 16 = 80 \text{ м}$$

$$\frac{\ell_B + t}{\sqrt{S}} = \frac{5 + 0,7}{19,36} = 0,244 > 0,1,$$

Відносна глибина $A = \left(0,385 - 0,25 \frac{\ell_B + t}{\sqrt{S}} \right)$ тоді (4.29)

$$A = 0,385 - 0,25 \cdot 0,244 = 0,324 \quad (4.30)$$

Для $\rho_1/\rho_2=5$; $a/\ell_B=1$ знаходимо: при $\frac{h_1 - t}{\ell_B} = \frac{2 - 0,7}{5} = 0,26$, $\rho_\ell/\rho_2=1,256$, тоді $\rho_\ell=1,256 \times 80=100,48$ Ом \times м.

Знаходимо опір заземлювача (4.31)

$$R_3 = A \frac{\rho_{\text{екв}}}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_{\text{екв}}}{L_T + L_B} \quad (4.31)$$

$$R_3 = 0,324 \frac{100,48}{19,36} + \frac{100,48}{19,36 + 80} = 2,048 \text{ Ом},$$

що більше за $R_{3,\text{доп}}=1,19$ Ом.

Визначаємо напругу дотику [5]

$$U_{\text{дот}} = K_{\text{дот}} R_3 I_3 = 1,1678 \cdot 2,048 \cdot 2000 = 687,7 \text{ В}, \quad (4.32)$$

$$U_{\text{дот}} = 1,1678 \cdot 2,048 \cdot 2000 = 687,7 \text{ В}$$

що більше допустимого значення 400 В.

Необхідно зменшити напругу дотику. Припускаємо, що на підстанції можуть бути застосовані природні заземлюючі системи трос – опора лінії 110 кВ з загальним опором $R_{\text{пр}}=2$ Ом. Тоді необхідний опір штучного заземлювача

$$R_{\text{шт}} = \frac{R_{\text{пр}} \cdot R_{3,\text{доп}}}{R_{\text{пр}} - R_{3,\text{доп}}} = \frac{2 \cdot 1,19}{2 - 1,19} = 2,938 \text{ Ом}. \quad (4.33)$$

$$R_{\text{шт}} = \frac{2 \cdot 1,19}{2 - 1,19} = 2,938 \text{ Ом}.$$

Отже, опір пристрою заземлення підстанції з урахуванням природних заземлювачів (4.34)

$$R'_3 = \frac{R_3 \cdot R_{\text{пр}}}{R_3 + R_{\text{пр}}} = \frac{2 \cdot 2,048}{2 + 2,048} = 1,012 \text{ Ом},$$

(4.34)

$$R'_3 = \frac{2 \cdot 2,048}{2 + 2,048} = 1,012 \text{ Ом},$$

тоді напруга дотику (4.35)

$$U_{\text{дот}} = K_{\text{дот}} R'_3 I_3 = 0,1678 \cdot 1,012 \cdot 2000 = 339,6 \text{ В}, \quad (4.35)$$

$$U_{\text{дот}} = 0,1678 \cdot 1,012 \cdot 2000 = 339,6 \text{ В},$$

що менше допустимої напруги 400 В.

Напругу дотику $U_{\text{дот}}$ можна зменшити іншим способом. Наприклад, зробимо підсіпку гравієм по всій поверхні підстанції. Шар гравію 0,2 м.

Питомий опір шару гравію у цьому випадку буде $\rho_{\text{в.ш}} = 3000 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, тоді

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 1,5 \cdot 3000} = 0,18,$$

$$K_{\text{дот}} = \frac{0,75 \cdot 0,18}{\left(\frac{5 \cdot 190}{5\sqrt{15 \cdot 25}} \right)^{0,45}} = \frac{0,135}{2,794} = 0,048.$$

Підсіпка гравію не впливає на розтікання струму з пристрою заземлення, оскільки глибина закладання заземлювачів на 0,7 м більше товщини шару гравію, тому співвідношення ρ_1/ρ_2 та величина залишаються незмінними.

Отже,

$$U_3 = \frac{400}{0,048} = 8333,3 \text{ В}.$$

Допустимий опір заземлення

$$R_{3, \text{ доп}} = \frac{8333,3}{2000} = 4,166 \text{ Ом},$$

що більше $R_3 = 2,048 \text{ Ом}$.

Напругу дотику (4.36)

$$U_{\text{дот}} = K_{\text{дот}} R_z I_z \quad (4.36)$$

$$U_{\text{дот}} = 0,048 \cdot 2,048 \cdot 2000 = 196,6 \text{ В},$$

що менше допустимої напруги дотику.

Отже, підсіпка шару гравію є ефективним засобом для зменшення напруги дотику.

Визначаємо також максимальний допустимий струм однофазного короткого замикання на даній підстанції (4.37):

$$I_{z.\text{max}} = \frac{U_{\text{дот.дон}}}{K_{\text{дот.}} R_z} = \frac{400}{0,048 \cdot 2,048} = 4069,17 \text{ А.} \quad (4.37)$$

$$I_{z.\text{max}} = \frac{400}{0,048 \cdot 2,048} = 4069,17 \text{ А}$$

Висновок до четвертого розділу.

Запропонована методика розрахунку дозволяє визначати параметри заземлювального пристрою розподільних пристроїв різних класів напруг електричних станцій і підстанцій.

5. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ СТАНУ ЗАЗЕМЛЮВАЛИХ ПРИСТРОЇВ ДІЮЧИХ ЕНЕРГООБ'ЄКТІВ НА СУЧАСНОМУ ЕТАПІ

Термін експлуатації переважної більшості діючих енергооб'єктів України становить понад 30 років. За цей період як сама електроустановка, так і заземлювальний пристрій (ЗП) зазнають значних змін, внаслідок чого його електричні нормовані параметри (НП) можуть перевищувати допустимі значення, а конструктивне виконання не відповідає вимогам проектної та нормативної документації. Існує низка факторів, які суттєво впливають на стан ЗП та його параметри:

- дія корозії на елементи ЗП (порушення цілісності сітки та пошкодження заземлювальних провідників на межі земля-повітря);
- некоректне відновлення заземлення старих та під'єднання нових одиниць обладнання до існуючого ЗП (послідовне з'єднання обладнання, приєднання до металевих частин, що не мають зв'язку з ЗП);
- пошкодження ЗП при земляних роботах в результаті заміни або ремонту обладнання;
- збільшення потужності електроустановки зі зростанням значень струмів короткого замикання (КЗ) (перевищення допустимих значень НП ЗП).

Для оцінки працездатності ЗП використовуються НП [1], які періодично контролюються протягом всього строку експлуатації [2]. До них відносять: опір ЗП, напругу на ЗП, напругу дотику та опір контактних з'єднань. Ці величини залежать від таких факторів: конструктивного виконання ЗП, електрофізичних характеристик ґрунту (питомий опір і товщина шарів) та характеристик об'єкту (значення струму КЗ, час спрацювання захисту, клас напруги тощо).

Розглянемо найбільш поширені методи визначення НП ЗП.

5.1 Опір заземлювального пристрою та напруга на ньому.

На теперішній час значення опору ЗП визначається за допомогою низки методів:

1) введення великого струму (50-100 А). Вказаний метод поділяється на декілька типів:

- синхронний [3], в якому використовується джерело напруги промислової частоти. Струм та напруга у колі вимірюється до та після включення джерела напруги. Потім за відповідними виразами визначається опір ЗП;

- частоти вдарянь [3], в якому використовується генератор змінного струму з частотою відмінною від промислової на 0,1-0,5 Гц. Внаслідок здвигу фази між введеним струмом та струмом, що розтікається по ЗП в процесі нормальної роботи, виникають максимуми та мінімуми вимірюваного струму та напруги. Напруга та струм також вимірюються до та після включення генератору, а значення опору визначається за відповідними виразами;

- введення струму, у якого частота відмінна від промислової частоти та її гармонік на декілька Гц;

2) введення малого струму (до 3 А) [4]. У даному випадку використовуються генератори з відмінною від промислової частотою;

3) розрахункового способу [5-9].

Вимірювання за наведеними методиками виконується за методом амперметра-вольтметра, при цьому використовуються дві схеми розташування електродів [2] – одно та двопротенева (див. рис. 5.1). Двопротенева схема може бути доцільною при вимірюванні в умовах, де площа в місці розташування енергооб'єкту обмежена. Для обох схем застосовується один і той самий порядок вимірювань:

1) до генератору I під'єднується ЗП E та струмовий електрод C, який

встановлюється на відстані $3D$ для однопроменевої та $(1,5-2) D$ для двопроменевої схеми, де D – найбільша діагональ ЗП;

2) встановлюється значення струму за допомогою генератора I та амперметра PA ;

3) потенційний електрод P забивається на деякій відстані X , наприклад 50 % від відстані до струмового електроду (для однопроменевої схеми – на одній прямій зі струмовим електродом, для двопроменевої – під кутом $40-45^\circ$), й вимірюється потенціал;

4) далі, пересуваючи потенційний електрод в сторону від ЗП, вимірюється потенціал через обрану відстань (наприклад, через 5 м, 10 м, 15 м і т.д.);

5) пересувати електрод P необхідно до такої відстані X , щоб значення між двома сусідніми вимірами відрізнялося не більше ніж на 10 %. Це буде означати, що знайдено точку $R2$ кривої [10].

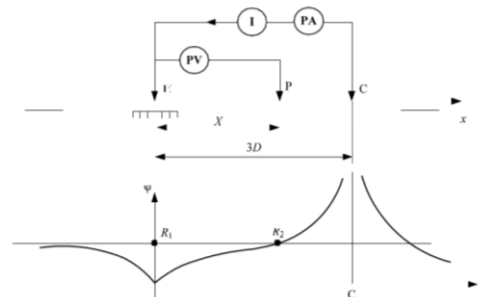


Рис. 5.1. Розподіл потенціалу по поверхні ґрунту при проведенні вимірювань за однопроменевою схемою

Опір ЗП в цьому випадку буде рівним відношенню потенціалу в точці $R2$ до струму генератора. Однак, на практиці найбільш широке розповсюдження, у зв'язку зі своєю простотою, отримала однопроменева схема за «методом 62 %», коли потенційний електрод P одразу встановлюється на відстані від ЗП, яка складає 62 % від виносу струмового електроду C . Такий метод забезпечує найбільшу точність при умові однорідності ґрунту, проте в інших випадках необхідно користуватися залежністю довжини виносу потенційного електроду від довжини виносу

струмового для двошарового ґрунту, яка наведена в [10].

Горизонтальна частина на кривій залежності потенціалу від відстані до потенційного електроду з'являється при достатньо значному збільшенні відстані до струмового електроду. В залежності від структури ґрунту вказана умова виконується при відстані до струмового електроду в (3-40) діагоналей ЗП. Зрозуміло, що таке рознесення вимірювальних кіл в багатьох випадках буде неможливим.

В [11] розглянуто схему вимірювання опору ЗП за допомогою триелектродної установки. При цьому, незважаючи на ствердження про можливість вимірювань для будь-якої структури ґрунту, при фізичному моделюванні було розглянуто лише однорідну структуру, а вимірювання на діючих енергооб'єктах не проводились. В [12] показано, що в ґрунтах з горизонтальною та вертикальною неоднорідностями існує єдиний можливий варіант розташування допоміжного потенційного електроду в однопроменевій схемі вимірювання, при якому можливе точне визначення опору ЗП. Наведений алгоритм експериментального пошуку цього варіанту для ґрунту з невідомою геоелектричною структурою є складним з точки зору практичної реалізації.

Напруга на ЗП – це напруга, яка виникає в разі стікання струму із заземлювача в землю між точкою введення струму в заземлювач і зоною нульового потенціалу [1]. Напряму величина напруги на ЗП впливає на стан кабельної продукції енергооб'єкту, мікропроцесорної вимірювальної техніки та техніки управління, панелей релейного захисту, а опосередковано також і на електробезпеку (саме величина напруги на ЗП разом з електрофізичними характеристиками ґрунту є визначальними для величини напруги дотику). Згідно з [1] для енергооб'єктів, що працюють в мережі з заземленою нейтраллю, величина напруги на ЗП регламентується наступним чином: перевищення значення 10 кВ допускається лише на ЗП, виконаному за вимогами до напруги дотику, й не допускається на ЗП

виконаному за вимогами до опору ЗП. У випадку винесення високого потенціалу за межі електроустановки та перевищення значення 5 кВ необхідно застосовувати засоби захисту ізоляції кабелів зв'язку і телемеханіки, що відходять від електроустановки.

Найпростішим, але і найменш точним способом для знаходження напруги на ЗП є прямий перерахунок, коли виміряне за схемою на рис. 1 значення опору ЗП перемножується на реальне значення струму КЗ. Похибка при визначенні напруги на ЗП обумовлюється неточністю вимірювання опору ЗП та неврахуванням нелінійної залежності магнітної проникності заземлювачів від величини струму КЗ. В зв'язку з неможливістю проведення вимірювань опору ЗП та напруги на ЗП на низці об'єктів (промислових підприємствах, в умовах міської забудови тощо), найбільш універсальним та точним способом визначення стає розрахунковий за допомогою спеціальних програмних комплексів. Питанням моделювання електромагнітних процесів, що виникають в ЗП при протіканні аварійних струмів присвячена низка робіт [5-9]. В більшості випадків використовується математична модель ЗП, розташованого в двошаровому ґрунті, зокрема за допомогою аналогічної моделі [8] авторами проведено розрахунок для понад 1000 енергооб'єктів України класами напруги 35-750 кВ, а програмний комплекс, використаний в [5], є однією з найпопулярніших в світі комерційних версій). Вихідними параметрами для нього є конструктивне виконання ЗП (його схема, переріз заземлювачів, глибина розташування), електрофізичні характеристики ґрунту, режим роботи нейтралі та величина струму КЗ досліджуваного об'єкту.

Напруга дотику. Напруга дотику є параметром, який характеризує електробезпеку обслуговуючого персоналу енергооб'єкту. Він залежить від струму, який стікає з ЗП в землю, опору ЗП, конструкції ЗП та електрофізичних характеристик ґрунту. На відміну від вимірювання опору ЗП, при якому амплітуда вимірювального струму не грає великої ролі (вона

задається в залежності від використовуваного методу), напруга дотику їй пропорційна, хоча ця залежність і носить нелінійний характер.

Існують два шляхи експериментального вимірювання напруги дотику. Перший – безпосередньо при струмі КЗ, тобто в реальних умовах. Він небезпечний й може бути виправданим лише в поодиноких випадках у виключних ситуаціях (при проведенні випробовувань найбільш відповідальних ЗП), тому практично не використовується. Другий – при вимірювальному струмі, який в багато разів менший ніж реальний струм КЗ, з подальшим приведенням вимірної напруги дотику пропорційно до реального струму КЗ [2].

Вимірювальна схема практично така сама, як і для вимірювання опору ЗП, проте з особливим виконанням потенційного електроду й шунтуванням вольтметра резистором. На рис. 5.2 наведена схема вимірювання напруги дотику за допомогою комплексу «КДЗ-1У» [2].

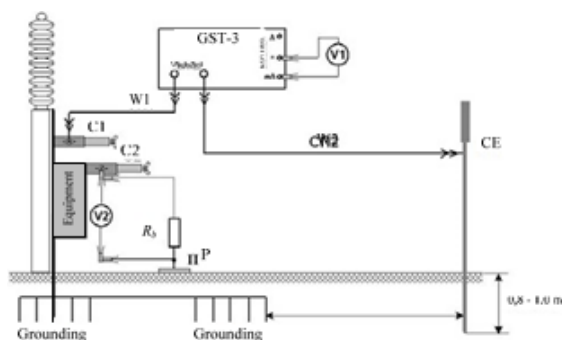


Рис. 5.2. Схема вимірювання напруги дотику

Потенційний електрод Р має імітувати дві ступні людини. Для цього використовують спеціальний електрод-пластину з контактною поверхнею $25 \times 25 \text{ см}^2$. Для створення достатнього тиску на землю на пластину встановлюється вантаж вагою не менше 25 кг. Вольтметр шунтується резистором з опором R_b . Еквівалентний опір включених паралельно резисторів має дорівнювати опору тіла людини (як правило воно приймається рівним 1000 Ом). Горизонтальна відстань від місця контакту до пластини приймається рівним 0,8 м [1, 2] або 1 м [7].

Вольтметр паралельно з резистором за допомогою струбцини С2 включають між заземленим обладнанням (на рис. 5.2 – це ящик керування), на якому виконується вимірювання, та потенційним електродом. Струмовий електрод СЕ розташовують на такій же відстані, як і при вимірюванні опору ЗП. Генератор ГСТ-3 від «КДЗ-1У» (або аналогічний) під'єднують до обладнання та СЕ за допомогою струбцини С1 й проводів W1 і W2 відповідно. Для моделювання найбільш несприятливих сезонних умов місце встановлення потенційного електроду зволожується. Після чого на схему подається напруга й виконуються виміри напруги та струму. Вимірні значення напруги дотику приводять до реального струму КЗ й порівнюють отриманий результат з припустимим нормованим значенням. Недоліками такого способу є неможливість проведення вимірювань в умовах щільної забудови та методична похибка способу, яка пов'язана з неврахуванням залежності магнітної проникності матеріалу заземлювачів від струму, що протікає елементами ЗП, а також відтікання частин струму КЗ в заземлені нейтралі трансформаторів.

Таким чином, на відміну від опору ЗП, яке можна визначити як експериментальним, так і розрахунковим шляхом, напругу на ЗП та напругу дотику при реальному струмі КЗ можна знайти тільки шляхом виконання відповідних обчислень за допомогою спеціальних комп'ютерних програм.

Опір контактних з'єднань. Одним з електричних НП ЗП є опір контактного з'єднання обладнання з ЗП. У роботах останніх років неодноразово відзначався його значний вплив на величину напруги дотику [13-15]. Опір контактних з'єднань визначається методом амперметра-вольтметра при постійному або змінному струмі за допомогою мікроомметра або подвійного мосту [2]. Допустиме значення опору контактного з'єднання складає 0,05 Ом при введені та не більше 0,1 Ом під час експлуатації. Загальноприйнята схема вимірювання вказаного НП, як в Україні [2], так і за кордоном [7], наведена на рис. 5.3.

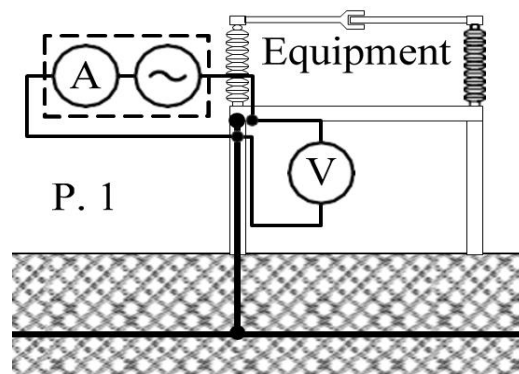


Рис. 5.3. Схема вимірювання опору контактних з'єднань

Таким чином, згідно схеми вимірювання, під опором контактного з'єднання мають на увазі перехідний опір між обладнанням та заземлювальним провідником. Проте, як показує практика експлуатації ЗП, та проведення вимірів НП ЗП, перевищення напруги дотику може наступити внаслідок порушення цілісності заземлювального провідника на межі «земля-повітря», а також в зв'язку зі збільшенням опору контактного з'єднання в точці зварки заземлювального провідника з самим ЗП (див. Р. 1 на рис. 5.3). Тому врахування стану заземлювального провідника та якості його під'єднання, а відповідно й самого обладнання до ЗП, є важливою задачею. Для її контролю можна використовувати опір зв'язку, який визначається відносно іншого заземленого обладнання. Однак такої методики з мінімізацією кількості необхідних вимірювань на разі не існує.

Підсумовуючи, можна констатувати, що розглянуті вище методики мають наступні недоліки:

- неможливість проведення вимірювання напруги дотику, опору ЗП та напруги на ЗП на низці об'єктів у зв'язку з відсутністю вільної від комунікацій або споруд ділянки для розміщення допоміжних струмових та потенційних електродів;

некоректне вимірювання НП ЗП у зв'язку з неврахуванням довжини виносу струмового електроду для двошарового ґрунту та відсутність такої залежності для три і більше шарових ґрунтів;

- некоректне вимірювання напруги дотику та напруги на ЗП через

неврахування залежності магнітної проникності заземлювачів від струму, що протікає по ним, і відтоку струму у заземлені нейтралі;

- неповна інформація про якість заземлення обладнання, яку дає вимір опору контактних з'єднань;
- технічна складність та значні трудові витрати при проведенні вимірювання напруги дотику на кожній одиниці обладнання енергооб'єкту (кількість таких одиниць на підстанції класом напруги 330 кВ може сягати декількох сотень, а трудові витрати на вимірювання однієї точки згідно з будівельними нормами [16] складають 15 люд\год).

Крім того, для об'єктів, які тривалий час знаходяться в експлуатації, проведення лише вимірювання перелічених НП не дозволяє однозначно оцінити стан ЗП: невідомим залишається конструктивне виконання та стан заземлювачів, що знаходяться під землею. Тому на сучасному етапі для контролю використовується електромагнітна діагностика (ЕМД) стану ЗП [2], яка включає в себе комплексне експериментальне та розрахункове (на основі реального стану ЗП та результатів додаткових експериментів) визначення всіх НП ЗП. Вказана методика поєднує в собі низку методів: вертикального електричного зондування ґрунту, індукційного методу визначення наявності заземлювачів, методу малого струму, розрахункового методу тощо.

5.2 Методика електромагнітної діагностики стану заземлювального пристрою.

Методика ЕМД ЗП [2] діючих енергооб'єктів в цілому відповідає міжнародним стандартам [7] та [10], і передбачає проведення трьох етапів: експериментального, розрахункового та етапу видачі рекомендацій.

На першому етапі виконується:

- визначення конструктивного виконання ЗП за допомогою

індукційного методу (місцезнаходження та глибина заземлювачів), необхідного в тому числі для побудови його математичної моделі;

- вимір уявного питомого опору для визначення електрофізичних характеристик ґрунту (питомого опору, товщини шарів та їх кількості) методом вертикального електричного зондування;
- вимір електричних параметрів (опору основи, опору ЗП, напруги дотику та напруги на ЗП відносно іншої заземленої точки) на основі методу амперметра вольтметра та відомих схем, які необхідні для оцінки адекватності математичної моделі реальному ЗП.

Результати експериментальних досліджень разом з характеристиками енергооб'єкту (класом напруги, режимом роботи нейтралі трансформаторів та значенням струмів короткого замикання і часу спрацювання захисту) є вихідними даними для другого (розрахункового) етапу ЕМД.

При проведенні розрахунків на другому етапі використовується розроблена авторами математична модель нееквіпотенційного ЗП, розташованого в тришаровому провідному ґрунті з плоско-паралельними границями поділу [9]. Для того, щоб задати вихідні параметри ґрунту використовуються засоби інтерпретації кривих вертикального електричного зондування та еквівалентування ґрунту. Моделювання процесів в ЗП виконується при реальному струмі КЗ з урахуванням нелінійної залежності магнітної проникності від його величини, скін-ефекту та реального розтікання аварійних струмів (у тому числі відтікання в заземлені нейтралі), що дозволяє визначити значення НП навіть для тих об'єктів, які розташовані в стислій забудові або на території промислових підприємств. Існуючі програмні засоби та математичні моделі дозволяють врахувати дво та тришарову геоелектричну структури ґрунту й охопити напряму понад 80 % енергооб'єктів України.

На третьому етапі виконується розробка рекомендацій обумовлених вимогами нормативних документів до конструктивного виконання

заземлювачів, а також на основі порівняння значень розрахункових та допустимих параметрів оцінюється доцільність введення додаткових рекомендацій для проведення реконструкції заземлювального пристрою. Після цього проводиться повторний розрахунок з урахуванням рекомендованих додаткових заземлювачів. Синтез зазначених рекомендацій є складною технічною задачею, оскільки при її вирішенні необхідно визначити оптимальні місця прокладання заземлювачів для економії трудових та матеріальних витрат, і при цьому найбільш повно використовувати існуючий ЗП.

Таким чином, методика ЕМД стану ЗП дозволяє провести найбільш об'єктивну оцінку поточного стану ЗП та розробити способи для приведення його у відповідність до нормативних документів.

До недоліків ЕМД стану ЗП слід віднести помилки при визначенні конструктивного виконання ЗП та вплив допущень, прийнятих при побудові математичної моделі:

- похибка визначення глибини залягання ЗП;
- змінний переріз заземлювачів на різних частинах ЗП, що складно врахувати;
- помилки при ідентифікації горизонтальних заземлювачів (прийняття кабелів та підземних комунікацій за штучний заземлювач);
- проблеми знаходження місця встановлення вертикального заземлювача та відсутність методики визначення його довжини;
- допущення про плоско-паралельну багат шарову структуру ґрунту, який насправді має нахили та локальні включення;
- недостатня глибина зондування багат шарових ґрунтів та відсутність засобів інтерпретації.

5.3 Прилади для контролю стану заземлювального пристрою.

В Україні використовується вітчизняний комплекс для діагностики стану ЗП «КДЗ-1У» (див. рис. 5.4,*а*), французькі прилади С.А 6460 та С.А 6470N (див. рис. 5.4,*б*), а також вітчизняні стандартні прилади ще радянської конструкції: М-416 чи Ф 4103-М1, які по теперішній час застосовуються службами ізоляції та високовольтними лабораторіями на різних енергооб'єктах.



Рис. 5.4. Прилади для контролю стану ЗП: *а* – «КДЗ-1У»; *б* – С.А 6470N

В табл. 5.1 наведено порівняння функцій найпоширеніших приладів для контролю стану ЗП діючих енергооб'єктів України.

Таблиця 5.1

Назва приладу	Стан ЗП	Питомий опір ґрунту	Опір ЗП	Напруга дотику	Опір контактних з'єднань
«КДЗ-1У»	+	+	+	+	+
С.А 6470N	–	+	+	+	+
С.А 6460	–	+	+	+	+
Абрис-12/8	+	–	–	–	–
Ф 4103-М1	–	+	+	–	–
М-416	–	+	+	–	–
ЕР-331	–	–	–	–	+

Аналіз приладів показує, що лише «КДЗ-1У» дозволяє виконувати повний комплекс робіт з ЕМД стану ЗП. Проте недоліком приладу є

відсутність автономного живлення і мала величина допустимого опору вимірювальних електродів (що практично унеможливило проведення зондування ґрунту з питомим опором більше 350 Ом·м). Прилади ЕР-331 та Арбис-12/8 є вузько направлені й дозволяють виконувати лише ви- мір опору контактних з'єднань та пошук траси про лягання заземлювачів відповідно. Ф 4103-М1 та М-416 є технічно застарілими й також мають вузький спектр застосування. С.А 6460 у порівнянні з С.А 6470N має лише одну частоту вимірювання та не дозволяє про- водити зондування ґрунту для енергооб'єктів класом напруги 220 кВ та вище. В цілому детальний аналіз характеристик та можливостей приладів для зондування ґрунту зроблено в [17].

Таким чином, найбільш широкі можливості для визначення НП ЗП мають «КДЗ-1У» та С.А 6470N. Виглядає перспективним удосконалення «КДЗ-1У» або розробка аналогічного без вказаних недоліків.

Висновки до п'ятого розділу

1. Проведено дослідження сучасних методів контролю стану ЗП та встановлено, що на відміну від визначення опору ЗП, яке можна робити як експериментально, так і розрахунковим шляхом, напругу на ЗП та напругу дотику при реальному струмі замикання на землю слід знаходити тільки розрахунковим шляхом за допомогою спеціальних комп'ютерних програм.

2. Показано, що методика ЕМД ЗП дозволяє провести найбільш об'єктивну оцінку поточного стану ЗП та розробити рекомендації для приведення його у відповідність до нормативних документів.

3. Встановлено недоліки ЕМД ЗП, які пов'язані з помилками при визначенні його конструктивного виконання та впливом допущень, прийнятих при побудові математичної моделі.

4. Проведено аналіз приладів, що використовуються при контролі стану ЗП. Визначено перспективний напрямок удосконалення комплексу для діагностики заземлення «КДЗ-1У».

6. ТЕХНІКО –ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

6.1. Капітальні вкладення

Капітальні вкладення в технічне переоснащення визначені зведеним кошторисним розрахунком в цінах на 20.04.2017 і складають 5583,779 тис. грн.

Розподіл загальної кошторисної вартості за структурою витрат надано в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1. Розподіл загальної кошторисної вартості за структурою витрат

Найменування витрат	Сума, тис. грн.
Загальна кошторисна вартість реконструкції, всього	5583,779
- будівельних робіт	330,949
- обладнання	3852,934
- інших	1399,896
Крім того, зворотні суми	4,837

Розподіл кошторисної вартості технічного переоснащення зведеного кошторисного розрахунку надано в таблиці 6.2.

Таблиця 16.2 Розподіл кошторисної вартості технічного переоснащення за главами зведеного кошторисного розрахунку, тис. грн.

Найменування глав, об'єктів, робіт та витрат	Будівельні роботи	Обладнання	Інші	Разом по ЗКР
Об'єкти основного призначення	307,587	3719,048	-	4026,635
Кошти на інші роботи та витрати	-	-	163,362	163,362
Утримання служби замовника	-	-	105,862	105,862
Проектно-вишукувальні роботи та авторський нагляд	-	-	178,477	178,477
Кошторисний прибуток	12,289	-	-	12,289
Кошти на покриття адміністративних витрат будівельних організацій (АВ)	-	-	5,448	5,448

Найменування глав, об'єктів, робіт та витрат	Будівельні роботи	Обладнання	Інші	Разом по ЗКР
Кошти на покриття ризику всіх учасників будівництва	11,073	133,886	16,117	161,076
Разом	330,949	3852,934	469,266	4653,149
Податок на додану вартість (20%)	-	-	930,630	930,630
Всього по зведеному кошторисному розрахунку	330,949	3852,934	1399,896	5583,779
Крім того, зворотні суми	-	-	-	4,837

Вартість основних засобів визначена у відповідності до діючих нормативних документів України зі змінами на момент проведення розрахунку:

Вартість основних фондів, що вводяться за проектом, дорівнює величині капітальних вкладень без урахування ПДВ та зворотних сум (що за кошторисної вартості) і складає 4 653,149 тис. грн.

6.2. Операційні витрати

Операційні витрати складаються з амортизаційних нарахувань та експлуатаційних витрат.

6.2.1 Амортизаційні нарахування

Амортизаційні нарахування на основі засоби, що вводяться після технічного переоснащення, визначені у відповідності до:

- ст. 138.3 «Порядок розрахунку амортизації основних засобів або нематеріальних активів для визначення об'єкта оподаткування» Податкового Кодексу України від 02.12.2010 №2755-VI з внесеними на момент розрахунку змінами;

- ДК 013-97 Державний класифікатор України «Класифікація основних фондів», затверджений наказом Державного комітету України по стандартизації, метрології та сертифікації від 19.08.1997 № 507.

Розрахунок амортизаційних нарахувань на основні засоби надано у таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 Розрахунок амортизаційних нарахувань

Група	Найменування	Прямі витрати, тис.грн.	Вартість ОЗ, тис.грн	років	Сума щорічних амортизаційних нарахувань, тис.грн.
Група 3 - споруди	устаткування	4026,635	4653,149	15	3103,210

6.2.2 Експлуатаційні витрати

За результатами технічного переоснащення будуть скориговані в частині витрат на періодичне обслуговування нового обладнання. Решта статей видатків лишається без змін, зокрема, витрати чисельність персоналу не змінюється, додаткових витрат ресурсів та змінення площі території.

Витрати на періодичне обслуговування прийняті в розмірі 1% від вартості основних засобів, що вводяться в експлуатацію за проектом, і складають 46,531 тис.грн.

6.3. Оцінка економічної ефективності

Наявна елементна база не може забезпечити надійне електроживлення, що може стати причиною зупинки технологічного процесу.

Нове обладнання дасть змогу виключити аварійні зупинки через помилкове спрацювання електрообладнання і захистів, а також забезпечити безперебійність живлення споживачів.

Заміна пристроїв контролю заземлюючих пристроїв проводиться з метою заміни морально застарілого обладнання на сучасне прогресивне.

Нове обладнання надасть можливість збирати параметри стану заземлюючих пристроїв, фіксувати аварійні та позаштатні ситуації, а також

забезпечить підвищену точність обліку електроенергії та диференційований підхід до розрахунків за спожиту електроенергію.

Тариф на електроенергію - 2,1574 грн/кВт*год.

На даний момент діє схема, затверджена Постановою НКРЕ від 20.12.2001 № 1241 (зі змінами і доповненнями від 22.01.2015), яка передбачено варіанти розрахунків за електроенергію на основі тарифів, диференційованих за періодами часу.

Економічний ефект від заходів технічного переоснащення складається з декількох складових:

1) Ефект від економії в результаті встановлення багатотарифних зональних лічильників досягається за рахунок застосування коефіцієнтів по зонах (пік, напівпік, ніч), а також можливої мінімізації споживання електроенергії у пікові періоди часу (розглянуто сценарій: 20% - у час пік, 30% - у зоні напівпік, 50% - у нічний період) – орієнтовно 20%;

2) Ефект від скорочення витрат на електроенергію в результаті запровадження заходу НТ (згідно з «Методичними положеннями визначення економічного ефекту від упровадження нової техніки та оцінення ефективності капітальних) - 2%;

3) Ефект від впровадження раціональної системи електропостачання промислового підприємства, пов'язаної з вибором і застосуванням раціонального числа трансформацій і скорочення числа трансформацій. Економія електроенергії складе не менш 10-15% витрат (споживання) промисловим підприємством.

Розрахунок економії представлено в таблиці 6.4

Таблиця 6.4 Визначення вартості економічного ефекту для системи енергозабезпечення та річної економії від технічного переоснащення

Найменування	Одиниці виміру	Показник
До технічного переоснащення:		
Витрати електроенергії на технологічні потреби	тис. кВт*год	645,14

Найменування	Одиниці виміру	Показник
Тариф на електроенергію	грн/кВт*год	2,1574
Вартість електроенергії, річна	тис. грн.	1 391,83
Після технічного переоснащення:		
Вартість електроенергії, річна:		
- зона пік	тис. грн.	501,06
- зона напівпік	тис. грн.	425,90
- зона ніч	тис. грн.	173,98
Загальна річна вартість електроенергії	тис. грн.	1 100,93
Ефект від економії на багатотарифних зональних лічильниках	тис. грн.	290,89
Ефект від скорочення витрат на електроенергію в результаті запровадження заходу НТ	тис. грн.	27,84
Ефект від впровадження раціональної системи електропостачання	тис. грн.	208,77
Разом економія	тис. грн.	527,50

6.4. Оцінка ефективності прийнятих рішень і основні техніко-економічні показники

В таблиці 6.4. представлені основні техніко-економічні показники проекту

Таблиця 6.4. Основні техніко-економічні показники технічного переоснащення.

Найменування	Одиниці виміру	Показник
Найменування об'єкту	Технічне переоснащення	
Вид будівництва	технічне переоснащення	
Категорія складності	V	
Клас наслідків (відповідальності)	СС3	
Кількість робочих місць (обслуговуючий персонал служби ЕВП)	людей	9,0
- ІТР	шт.од.	2,0
- робітники	шт.од.	7,0

Найменування	Одиниці виміру	Показник
Кошторисна вартість технічного переоснащення, всього	тис.грн.	5583,779
в т.ч. - будівельні роботи	тис.грн.	330,949
- обладнання	тис.грн.	3852,934
- інші	тис.грн.	1399,896
Зворотні суми	тис.грн.	4,837
Вартість введених основних фондів	тис.грн.	4 653,149
Експлуатаційні витрати: 1% від ОФ - витрати на обслуговування	тис.грн.	46,531
Амортизаційні нарахування на введені ОФ	тис.грн.	310,210
Тривалість будівництва	міс.	4
в т.ч. підготовчий період	міс.	0,3
Річна вартість економії внаслідок технічного переоснащення	тис.грн.	527,502
ставка відсотка дисконтування	%	8%
норма амортизації	%	6,7%
Інтегральні показники економічної ефективності (від розрахункової економії)		
- чистий дохід (ЧД)	тис.грн.	4 077,2
- термін окупності	років	11,3

Висновок до шостого розділу

1) Заходи щодо технічного є обґрунтованими, оскільки існуюче обладнання є морально і технічно застарілим;

2) Внаслідок запропонованих технічних рішень виникає загальний економічний ефект від впровадження сучасних технологій і прогресивного електричного обладнання у розмірі 527,5 тис. грн на рік.

3) Термін окупності капітальних вкладень в технічне переоснащення складає 11,3 років; Термін експлуатації основного електрообладнання складає 20-25 років.

Термін окупності не перевищує.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ

На електротехнічний оперативно-ремонтний персонал в процесі реконструкції обладнання розподільних установок та електричних мереж, впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори за ГОСТ 12.0.003-74:

фізичні:

- підвищена та понижена температура повітря робочої зони;
- підвищена та понижена температура поверхонь обладнання, матеріалів;
- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- недостатнє освітлення робочої зони;
- нестача природного освітлення;
- небезпечний рівень напруги електричного кола, замикання якого може відбутися через тіло людини;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищена та понижена вологість повітря;
- підвищена та знижена рухливість повітря;

психофізіологічні:

- фізичні перевантаження (динамічні);
- нервово-психічні перевантаження (монотонність праці, перенапруга аналізаторів).

7.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

Живлення силової мережі та системи освітлення підстанцій здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 x 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю струмопровідної підлоги. Технічні рішення

щодо запобігання електротравмам:

1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмовідними елементами електроустаткування, необхідно:

- розміщувати неізолювані струмовідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;

- використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки;

- підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

2) При живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

3) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі;

покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізолюваними ручками.

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

Згідно із ГОСТ 12.1.030-81, в якості захисту від ураження людей електричним струмом застосовується заземлення. Крім того безпека експлуатації при нормальному режимі роботи забезпечується застосуванням ізолювальних пристроїв, огороженням струмоведучих частин, використанням малих напруг. Особи, що обслуговують електроустановки повинні користуватися ЗІЗ - спецвзуття, рукавиці. Засоби захисту необхідно періодично випробувати, їх слід захищати від механічних пошкоджень, впливу факторів, що погіршують їх діелектричні властивості.

Загальні вимоги безпеки до виробничого обладнання встановлені згідно з ГОСТ 12.2.003-74, в якому визначені вимоги до основних елементів конструкції, органів управління і засобів захисту, які входять в конструкцію виробничого обладнання любого виду і призначення.

Перед допуском до роботи на комутаційних апаратах з дистанційним керуванням слід виконати такі технічні заходи:

- відключити силові кола приводу, кола оперативного струму і кола підігріву;
- закрити і замкнути на замок засувки на трубопроводі подачі повітря в баки вимикачів або на пневматичні приводи і випустити в атмосферу повітря, що в них є, в цьому разі спускні пробки (клапани) залишаються у відкритому стані;
- привести в неробочий стан вантаж або пружини, що вмикають комутаційні апарати;

- вивісити плакати «Не вмикати! Працюють люди» на ключах дистанційного керування і «Не відкривати! Працюють люди» на закритих засувках.

Для пробних вмикань і вимикань комутаційного апарата під час його налагоджування і регулювання допускається у випадку, якщо ще не здано наряд, тимчасове подавання напруги в кола оперативного струму і силові кола приводу, в кола сигналізації і підігрівання, а також подавання повітря в привод і на вимикач.

Встановлення знятих запобіжників, вмикання відключених кіл і відкриття засувки під час подавання повітря, а також зняття на час випробування плакатів «Не вмикати! Працюють люди» і «Не відкривати! Працюють люди» здійснюють оперативні працівники або з їх дозволу керівник робіт. Дистанційно вмикати або вимикати комутаційний апарат для випробування дозволяється особі, яка проводить налагодження чи регулювання, або за її вимогою оперативному працівнику.

Після випробування, в разі необхідності продовження роботи на комутаційному апараті, оперативним працівником або, з його дозволу - керівником робіт слід виконати технічні заходи, що вимагаються для допуску до роботи.

Обов'язкова установка захисного заземлення та захисного відключення. При роботі з електроустановкою використовуються основні і додаткові електрозахисні засоби. До основних відносяться: ізолюючі штанги; ізолюючі і струмовимірювальні кліщі; слюсарно-монтажні інструменти з ізолюючим руків'ям. До додаткових відносяться: діелектричні рукавички; переносне заземлення; огорожуючі пристосування; плакати та знаки безпеки.

На ключах керування і приводах роз'єднувачів віддільників і вимикачів навантаження, а також на підставках запобіжників, за допомогою яких може бути подана напруга до місця робіт, вивішують плакат: "Не включати - працюють люди". На вентилях, що закривають доступ повітря в пневматичні

приводи таких апаратів, вивішується плакат: "Не відкривати - працюють люди".

Передбачена проектом апаратура повинна експлуатуватися у відповідності з паспортними значеннями номінального струму та напруги. В процесі експлуатації слід постійно контролювати стан контактних сполучень та ізоляції апаратури, відсутність слідів дуги та оплавлення ошинування, опір ізоляції силових та освітлювальних мереж, правильність підключення. На всіх підготовлених місцях роботи після накладається заземлення вивішується плакат "Працювати тут".

7.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

7.2.1 Мікроклімат

Відповідно до [14] параметри мікроклімату, що нормуються: температура (t , °C) і відносна вологість повітря (W , %), швидкість його переміщення (м/с), потужність теплових випромінювань (W/m^2).

Допустимі параметри мікроклімату для умов, що розглядаються (категорія робіт II а) відповідно до [14] наведені в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт IIа.

Період року	Категорія робіт	Допустимі		
		t , °C	W , %	V , м/с
Теплий	Середньої важкості IIа	17-29	65 при 26°C	0,2-0,4
Холодний		15-24	До 75%	не більше 0,3

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату у приміщенні влаштовується припливно-витяжна вентиляція.

7.2.2 Склад повітря робочої зони

Робочою зоною вважається простір, який обмежений огорожуючими конструкціями виробничих приміщень, що мають висоту 2 м над рівнем підлоги або площини, на яких знаходяться місця постійного або непостійного перебування працюючих. Склад повітря робочої зони залежить від складу атмосферного повітря і впливу на нього ряду шкідливих виробничих факторів, утворених в процесі трудової діяльності людини. Склад повітря залишається постійним. Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³ [14].

Для нормалізації складу повітря робочої зони потрібно здійснювати щоденне прибирання робочого місця. Нагромадження пилу вказує на необхідність у вживанні заходів по очищенню від нього. Тому необхідно здійснювати наступні заходи:

- очищувати пил якнайчастіше.
- щодня протирати гарячі поверхні.

Планувати прибирання так щоб вони приходилось на час, коли устаткування виключене, як, наприклад, у другу половину дня п'ятниці або на вихідні.

Таблиця 7.2 – Можливі забруднювачі повітря можуть і їх ГДК

Найменування речовини	ГДК, мг/куб.м		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

7.2.3 Виробниче освітлення

Природне освітлення

В залежності від джерела світла промислове освітлення поділяється на природне і штучне освітлення.

Природне освітлення – освітленість приміщень світлом неба (прямого або відображеного), яке проникає через світлові пройми в зовнішніх

огорожених конструкціях. По своєму спектральному складу воно є найбільш сприятливим. Природне освітлення характеризується коефіцієнтом природної освітленості КПО (e_H). КПО – відношення природного освітлення, яке створюється в деякій точці заданої площини всередині приміщення світлом неба, до значення зовнішньої горизонтальної освітленості.

Місця, які з технічних причин не можна забезпечити природнім освітленням, повинні мати електричне освітлення. Освітленість повинна відповідати ДБН В.2.5-28-2006 “Природне та штучне освітлення” [14].

Основною величиною для розрахунку і нормування природного освітлення є коефіцієнт природної освітленості (КПО). Прийняте роздільне нормування КПО для бічного і верхнього освітлення. Ті місця, що освітлюються тільки бічним світлом, нормуються мінімальним значенням КПО в межах робочої зони, що повинно бути забезпечене в точках, найбільше віддалених від вікна.

КПО при природному та суміщеному освітленню.

Характеристика зорової роботи персоналу – роботи високої точності; розряд зорової роботи – III; підрозряд зорової роботи - б; контраст об’єкта розпізнавання – середній; характеристика фону – темний;

Боковий КПО, %:

- природне 2,0;
- суміщене 1,2.

Нормоване значення коефіцієнта природної освітленості визначається за формулою:

$$e_N = e_H \cdot m_N,$$

де e_N – значення КПО;

m_N – коефіцієнт теплового клімату;

N – номер групи забезпеченості природним світлом.

Природне:

$$e_N = 2 \cdot 0,85 = 1,7\%;$$

суміщене:

$$e_N = 1,2 \cdot 0,85 = 1,0\%.$$

Штучне освітлення використовується двох систем: загальне або комбіноване. Загальне освітлення – освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення рівномірно або пристосувальне до розташування обладнання. Комбіноване освітлення - додаткове освітлення, при якому до загального освітлення додається ще й місцеве. Місьцеве освітлення - освітлення, яке створюється світильниками, які концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях.

Штучне освітлення, лк:

загальне – 300 лк; комбіноване – 1000 лк.

7.2.4 Виробничий шум

Рівень звуку вимірюється в децибелах і визначається за формулою:

$$L = 20 \cdot \lg\left(\frac{P}{P_0}\right) = 20 \cdot \lg\left(\frac{U}{U_0}\right); \quad (7.1)$$

де L – рівень шуму, дБ;

P – звуковий тиск, Па;

U_0 – коливальна швидкість, $5 \cdot 10^{-8}$ м/с;

P_0 – нульове значення звукового тиску на нижньому порозі чутності в октавній смузі зі середньгеометричною частотою 1000 Гц, умовно прийняте рівним $2 \cdot 10^{-5}$ Па.

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». В таблиці 6.3 наведено допустимі рівні звукового тиску та еквівалентні рівні звуку на робочому

місці

Шум порушує нормальну роботу шлунка, особливо впливає на центральну нервову систему. Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Таблиця 7.3 – Рівень звукового тиску

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

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

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі.

- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати малошумові вентилятори.

7.3 Пожежна безпека

Приміщення підстанцій, що підлягають реконструкції, відноситься до категорії Д – негорючі речовини у холодному стані з зонами П-І, де застосовуються горючі рідини з температурою спалаху більше 61 °С.

Будівля підстанції характеризується III ступенем вогнестійкості.

До III ступенем вогнестійкості відносяться будівлі з штучними та захисними конструкціями з природних та штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриття допускається застосування дерев'яних інструкцій, захищених штукатуркою або важкогорючими листовими, а також нитковими матеріалами. До елементів покриття висуваються вимога по межах огнестійкості та межах розповсюдження полум'я; при цьому елементи укриття з деревини піддаються вогнезахисній обробці.

Межі вогнестійкості занесені у таблицю 7.4.

У чисельнику вказуються межі вогнестійкості будівельних конструкцій; у знаменнику – межі розповсюдження полум'я по них.

Таблиця 7.4 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій і максимальні межі розповсюдження полум'я по них.

Ступінь вогнестійкості будівлі	Стіни				Колони	Сходові площадки, балки, косоури, марші сходових кліток	Плити, настили (з утеплювачем), несучі конструкції перекрить	Елементи перекрить	
	Несучі	Самонесучі	Зовнішні несучі	Внутрішні несучі (перегородки)				Плити, настили, прогони	Балки, ферми, арки, рами
III	1/0	0,5/0	0,2/40	0,2/40	0,25/0	1/0	0,25/0	0,25/25	0,25/0

В таблиці 7.5 приведені протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх огнестійкості.

Таблиця 7.5 – Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості

Номер п/п	Протипожежна перешкода	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальні межі вогнестійкості протипожежних перешкод або їх елементів, год
1	Протипожежні стіни	1	2,5
		2	0,75
2	Протипожежні перегородки	1	0,75
		2	0,25

Номер п/п	Протипожежна перешкода	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальні межі вогнестійкості протипожежних перешкод або їх елементів, год
3	Протипожежні перекриття	1	2,5
		2	1
		3	0,75
4	Протипожежні вікна і двері	1	1,2
		2	0,6
		3	0,25

В таблиці 7.6 наведена допустима кількість поверхів і площа поверху і межах пожежного відсіку будівлі відповідно до ступеня вогнестійкості.

Таблиця 7.6 – Допустима кількість поверхів і площа поверху в межах пожежного відсіку будівлі.

Категорія будівлі (пожежних відсіків)	Допустима кількість поверхів	Ступінь вогнестійкості будівлі	Площа поверху в межах пожежного відсіку, м ² , будівель		
			Одноповерхових	багатоповерхових	
				2 поверхи	3 поверхи і більше
Д	1	III	не обмежується		
			5200	-	-

Мінімальні відстані між будівлями і спорудами відповідно до III ступеня вогнестійкості становлять 12 м.

У випадку виникнення пожежі робітники повинні: прийняти всі заходи по ліквідації вогню; місце, яке загорілось слід гасити вогнегасником; при загоранні електропроводів слід відключити лінію, а ізоляцію електропроводів необхідно гасити тільки вуглекислотним вогнегасником або піском; зупинити обладнання.

Для гасіння пожежі до приїзду пожежної команди в котельні встановлюється пожежний щит, до комплекту якого входять: вуглекислотні вогнегасники ВВ-5 – 3 шт., ящик із піском місткістю 3 м³ – 1 шт., покривало з негорючого теплоізолюючого матеріалу розміром 2м x 2м – 1 шт., лопати – 2 шт., ломи – 2 шт., сокири – 2 шт., гаки – 3 шт.

7.4 Допустимі напруги та умови безпеки в заземлювальних пристроях

При проектуванні ЗП користуються поняттями допустимих напруг дотику і кроку, під якими розуміють граничні значення цих напруг. Допустимі напруги визначені множенням відповідних порогових значень струму на опір людини.

Опір людини можна вважати активним. Він не однаковий при проходженні струму від руки до ніг і від ноги до ноги і становить від 500 до 6000 Ом в залежності від напруги. Міжнародної електротехнічної комісією (МЕК) рекомендовані наступні найменші значення опору людини при 50 Гц і шляхи струму рука – ноги як функції напруги дотику [2, 3, 6, 7]:

Напруга дотику, В	25	50	250	Більше 250
Опір людини, Ом	2500	2000	1000	650

В Україні прийнято кілька значень, а саме: при 50 В і вище – 1000 Ом. при 36 В і нижче – 6000 Ом. Керуючись цими значеннями, в Україні нормовані (ГОСТ 12.10.08 - 82) допустимі напруги дотику і кроку для ЗП в ефективно-заземлених мережах залежно від тривалості впливу:

Тривалість t, с	До 0,1	0,2	0,5	0,7	1,0	
Понад 1,0 до 5,0						
Допустима напруга $U_{дон}$, В. ..	500	400	200	130	100	65

Небезпека крокової напруги значно менше небезпеки напруги дотику, тому що струм не проходить через область серця, як при дотику до заземлених предметів. Крім того, в першому випадку струм через людину обмежується великим опором землі під ступнями, ніж у другому. Однак необхідно взяти до уваги наступне:

під дією крокової напруги, що сприймається болісно, людина може впасти, що викличе струм через грудну клітку і область серця;

КЗ може статися, коли людина працює на колінах.

Враховуючи ці міркування, а також те, що випадки ураження людей

кроковими напругами мали місце, допустимі напруги дотику і кроку для ЗП в ефективно-заземлених мережах прийняті однаковими.

Допустима напруга дотику для мереж незаземлених і заземлених через дугогасні реактори встановлена рівною 36 В. При цьому струм через людину не перевищить 6 мА, що відповідає порогу відпускання.

7.5 Умови безпеки в зоні заземлювальних пристроїв

Для визначення умов безпеки при поширенні струму в землю необхідно врахувати захисну дію шару землі під ступнями людини. Розглянемо ланцюги струму через людину при дотику його до заземлених предметів, і через людину, яка крокує в зоні розповсюдження струму. Значення струму в першому випадку визначається максимальною напругою в комірках сітки $U_{я\max}$, в другому випадку максимальною напругою між двома точками на поверхні землі за межами сітки $U_{1-2\max}$. Опір ланцюга в першому випадку дорівнює $R_1 = R_l + R_c / 2$, у другому випадку $R_1 = R_l + 2R_c$ – опір розтікання струму від ступні людини в землю, який можна наближено прийняти рівним опору металевого диска радіусом $a = 8$ см, покладеного на поверхню землі [2, 3]:

$$R_c = \frac{\rho_c}{4a} = \frac{\rho_c}{4 \cdot 0,08} \approx 3\rho_c, \quad (7.2)$$

де ρ_c – питомий опір верхнього шару землі.

Повні опори кіл відповідно дорівнюють:

$$\begin{aligned} R_1 &= R_l + 1,5 \cdot \rho_c; \\ R_2 &= R_l + 6 \cdot \rho_c. \end{aligned} \quad (7.3)$$

Струми через людину:

$$\begin{aligned} I_{л1} &= \frac{U_{я\max}}{(R_l + 1,5 \cdot \rho_c)}; \\ I_{л2} &= \frac{U_{1-2\max}}{(R_l + 6 \cdot \rho_c)}. \end{aligned} \quad (7.4)$$

Введемо наступні позначення:

$$\begin{aligned} U_{я\max} / \varphi_3 &= \alpha_\partial; \\ U_{1-2\max} / \varphi_3 &= \alpha_\kappa; \end{aligned} \quad (7.5)$$

$$\begin{aligned} \frac{R_\lambda}{(R_\lambda + 1,5 \cdot \rho_c)} &= \beta_\partial; \\ \frac{R_\lambda}{(R_\lambda + 6 \cdot \rho_c)} &= \beta_\kappa. \end{aligned} \quad (7.6)$$

де α_∂ і α_κ – коефіцієнти напруги дотику і напруги кроку, значення яких знаходяться приблизно в межах від 0,1 до 0,8 залежно від конструкції заземлювача;

β_∂ і β_κ – коефіцієнти зниження напруги дотику і напруги кроку, залежні від питомого опору верхнього шару землі.

Напишемо умову безпеки дотику людини до заземлених предметів в зоні ЗП в ефективно-заземленій мережі (рис. 2.1, а):

$$U_\partial = U_{я\max} - I_\lambda \cdot 1,5 \rho_c = I_3 R_3 \alpha_\partial \beta_\partial \leq U_{\partial\text{дон}}; \quad (7.7)$$

$$U_\kappa = U_{1-2\max} - I_\lambda \cdot 6 \rho_c = I_3 R_3 \alpha_\kappa \beta_\kappa \leq U_{\kappa\text{дон}}, \quad (2.7)$$

де I_λ – струм через людину згідно (7.4);

$U_{\partial\text{дон}}$ – допустима напруга, яка визначається ГОСТ.

Умови безпеки в зоні ЗП в мережах незаземлених і заземлених через дугогасильні реактори слід написати аналогічно.

Однак допустима напруга складає лише 36 В, тобто значно менше допустимих напруг в ефективно-заземлених мережах.

ВИСНОВКИ

Для захисту від ураження людини електричним струмом застосовуються такі захисні заходи безпеки, як: заземлення, занулення, вирівнювання потенціалів, мала напруга, ізоляція, захисне відключення, роздільні трансформатори.

1. Штучний заземлювач ВРП 10-110 кВ станцій і підстанцій складається з поздовжніх і поперечних горизонтальних заземлювачів, сполучених між собою в заземлювальну сітку, вертикальних заземлювачів і заземлювальних провідників.

2. Головною метою розрахунку є вибір конструктивних параметрів штучного заземлювача, при яких ЗП електроустановок задовольняє вимогам прийнятого нормування, має необхідну довговічність і мінімальні витрати на споруду.

3. До конструктивних параметрів заземлювального пристрою відносяться: габаритні розміри штучного заземлювача; місця прокладки поздовжніх і поперечних горизонтальних заземлювачів; довжина, кількість і місця встановлення вертикальних заземлювачів; переріз заземлювачів і заземлюючих провідників; глибина закладання горизонтальних заземлювачів

4. Запропонована методика розрахунку дозволяє визначати параметри заземлювального пристрою розподільних пристроїв різних класів напруг електричних станцій і підстанцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Матвійчук В.А., Стаднік М.І., Рубаненко О.О. Електропривод виробничих машин і механізмів. Навчальний посібник з виконання курсової роботи для спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». / Вінниця: ВНАУ, 2016.- с.92.,
2. Основи Інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість / [Г. М. Калетнік, М. Г. Чусов, В. М. Швайко та ін.], 2010. – 616 с.
3. Технічна механіка / [Г. М. Калетнік, В. М. Булгаков, О. М. Черниш та ін.], 2011. – 340 с.
4. Матвійчук В.А., Стаднік М.І., Рубаненко О.О., Методичні вказівки по оформленню дипломних робіт магістра для студентів ОКР «Магістр» спеціальності 8.10010101 «Енергетика сільськогосподарського виробництва» та студентів ОС «Магістр» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка».– Вінниця: ВНАУ, 2016. - 64 с.
5. Видмиш А. А. Теоретичні основи електротехніки / А. А. Видмиш, А. А. Штуць, М. А. Колісник. – Вінниця: ВНАУ, 2017. – 83 с. – (Методичні вказівки).
6. Правила улаштування електроустановок. Розділ 1. Загальні правила. Глава 1.7. Заземлення і захисні заходи електробезпеки. – К.: ОЕП ГРІФРЕ, 2006. – 66 с.
7. Автоматизація технологічних процесів на теплових електричних станціях. Тези. Стаднік М.І., д.т.н., професор, Рубаненко О.О., к.т.н., доцент Скалецький Д.І., студент групи ЕЕС-13 . Стор.95, Том 3
8. Перхач В.С. Теоретична електротехніка: Лінійні кола /Підручник. - К.: Вища шк., 1992. - 439 с.
9. Блажкевич Б.И. Об однозначности определения напряжения. Научные записки, вып.76. Вопросы теории электрических и магнитных цепей, №1. - Львов: ЛПИ, 1960. - С.33-42.
10. Рекус Г.Г., Белоусов А.И. Сборник задач по электротехнике и основам электроники. - М.: Высш.шк., 1991. - 416 с.

11. Буслова Н.В., Винославский В.Н., Денисенко Г.И., Перхач В.С. Электрические системы и сети /Под ред. Г.И.Денисенко. -К.: Выща шк., 1986. - 584 с.
12. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 592 с.
13. 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.
14. Справочник по проектированию электроэнергетических систем/ Под ред. С.С.Рокотяна и И.И.Шапиро. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 285 с.
15. Сидоров В.С., Хохулін Б.К. Заземлення електричних мереж - К: Фірма «Віпол», 1997.- 137 с.
16. Справочник по электрическим установкам высокого напряжения/ Под ред. И.А.Баумштейна и М.В.Хомякова. - М.: Энергоиздат, 1981. - 656 с.
17. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. - М.: Энергия, 1980. - 600 с.
18. Сирота И.М., Кисленко С.Н., Михайлов А.М. Режимы нейтрали электрических сетей. - К.: Наук.думка, 1985. - 264 с.
19. Букович Н.В. Розрахунок струмів короткого замикання електроенергетичних систем. - Львів: Вища шк., 1988. - 248 с.
20. Топольницький М.В. Атомні електричні станції: Підручник для ВУЗів. - Львів: Видавництво "Бескид Біт", 2005. - 524 с
21. Баркан Я.Д. Эксплуатация электрических систем. - М.: Высш.шк, 1990. - 304 с.
22. Кінаш Б.М., Стряпан В.М. Эксплуатация енергосистем. - К.:ІСДО, 1995. - 236 с.
23. Долгинов А.И. Техника высоких напряжений в электроэнергетике. - М.: Энергия, 1968. - 464 с.
24. Рябкова Е.Я. Заземления в установках высокого напряжения.-М.: Энергия,

1978. - 224 с.

25. Гук Ю.Б., Кантан В.В., Петрова С.С. Проектирование электрической части станций и подстанций. - Л.: Энергоатомиздат, 1985.-312 с.

26. О внедрении временных норм на напряжение прикосновения для распределительных устройств и трансформаторных подстанций напряжением выше 1000 В с глухим заземлением нейтрали. Решение № 3-13 76 Минэнерго СССР от 29 декабря 1976 г.

27. Найфельд М.Р. Заземление, защитные меры электробезопасности.- М.: Энергия, 1971. - 312 с.

28. Караев Р.И., Волобринский С.Д. Электрические сети и энергосистемы. - М.: Транспорт, 1978. - 312 с.

29. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию /Под ред. А.А.Федорова. Т.2. Электрооборудование. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 592 с.

30. Чернобровов Н.В. Релейная защита. -М.: Энергия, 1971.-624 с.

31. Алексеев В.С, Варганов Г.П.и др. Реле защиты. - М.: Энергия, 1976. - 464 с.

32. Державні будівельні норми України. Інженерне обладнання будинків і споруд. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд. ДБН В.2.5-27-2006. - К.: ИМЦ Мінбуд України, 2006. – 156 с.

33. ГНД 34.20.303-2003. Випробування та контроль стану заземлювальних пристроїв електроустановок. Типова інструкція. - К.: ОЕП ГРІФРЕ, 2004.- 96 с.

34. Правила улаштування електроустановок. – Х. : «Форт», 2017. – 760 с.

35. Випробування та контроль пристроїв заземлення елект- роустановок. Типова інструкція. СОУ 31.2-21677681- 19:2009. – К.: Мінпаливенерго України, 2010. – 54 с.

36. Seljeseth H., Campling A., Feist K.H., Kuussaari M. Station Earthing. Safety and interference aspects // Electra. – 1980. – vol.71. – pp. 47-69.

37. 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.

38. Tabatabaei N.M., Mortezaei 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.

39. Колечицкий Е.С. Приближенные оценки сопротивления заземляющих устройств // Вестник МЭИ. – 2006. – №4. – С. 56-62.

40. IEEE Std 80-2000 Guide for Safety in AC Substation Grounding. – New York: IEEE, 2000. – 200 p. doi: 10.1109/ieeestd.2000.91902.

41. Линк И.Ю., Колиушко Д.Г., Колиушко Г.М. Математическая модель неэквипотенциального заземляющего устройства подстанции, размещенного в двухслойном грунте // Электронное моделирование. – 2003. – Т.25. – №2. – С. 99-111.

42. Колиушко Д.Г., Руденко С.С. Определение электрического потенциала, создаваемого заземляющим устройством в трехслойном грунте // Технічна електродинаміка. – 2018. – №4. – С. 19-24. doi: 10.15407/techned2018.04.019.

43. 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.

44. Нижевский И.В., Нижевский В.И., Бондаренко В.Е. Экспериментальное обоснование метода измерения сопротивления заземляющего устройства // Електротехніка і електромеханіка. – 2016. – №6. – С. 60-64. doi: 10.20998/2074-272X.2016.6.10.

45. Целебровский Ю.В. Теория измерения сопротивления заземляющего устройства // Доклады ТУСУР. – 2012. – №1(25). – Ч.1. – С. 196-198.

46. Глебов О.Ю., Колиушко Д.Г., Линк И.Ю. Определение напряжения прикосновения методом суперпозиции составляющих тока однофазного замыкания на землю // Вестник НТУ «ХПИ». – 2005. – №49. – С. 85-88.

47. Salam M.A., Rahman Q.M., Ang S.P., Wen F. Soil resistivity and ground resistance for dry and wet soil // Journal of Modern Power Systems and Clean Energy. – 2015. – vol.5. – no.2. – pp. 290-297. doi: 10.1007/s40565-015-0153-8.

48. Фоменко О.В., Костенко М.А., Новикова А.О. Влияние сопротивления связи в заземляющем устройстве на повреждение электронной аппаратуры // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – №3(12). – С. 44-48.

49. Ресурсные элементные сметные нормы на пусконаладочные работы. Сборник 1. Электротехнические устройства. ДБН Д.2.6-1-2000. – К.: Держбудівництво України, 2001.– 49 с.

50. Руденко С.С. Требования к приборам для проведения вертикального электрического зондирования грунта при диагностике состояния заземляющих устройств // Електро-техніка і електромеханіка. – 2016. – №5. – С. 68-73. doi: 10.20998/2074-272X.2016.5.12.

51. Справочник по проектированию подстанций 35-500 кВ / Под ред.

52. С. С. Рокотяна, Я. С. Самойлова. – М.: Энергоиздат, 1982. – 352 с.

53. Электрическая часть станций и подстанций: Учебник для вузов /А. А. Васильев, И. П. Крючков, Е. Ф. Наяшкова и др. под ред. А. А. Васильева. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 567 с.

54. Рожкова Л. Д. Электрооборудование станций и подстанций / Л. Д. Рожкова, В. С. Козулин. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.

55. Лежнюк П. Д. Проектування електричної частини електричних станцій: навчальний посібник / П. Д. Лежнюк, В. М. Лагутін, В. В. Тептя. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 194 с.

56. Основы проектирования та эксплуатации электрической части электрических станций: навч.-метод. посіб. / М. В. Костерев, Є. І. Бардик, Ю. В. Безбереж'єв та ін. – К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2003. – 120 с.

57. Гук Ю. Б. Проектирование электрической части станций и подстанций / Ю. Б. Гук, В. В. Кантан, С. С. Петрова. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 312 с.

58. Правила улаштування електроустановок. Видання третє, перероб. і доп. – К.: Мінпаливенерго України, 2010. – 736 с.

59. Грудинский П. Г. Техническая эксплуатация основного электрооборудования станций и подстанций / Грудинский П. Г., Мандрыкин С. А.,

Улицкий М. С. – М. : Энергия, 1974. – 576 с.

60. Баркан Я. Д. Эксплуатация электрических систем / Баркан Я. Д. – М. : Высш. шк., 1990. – 304 с.

61. Мотыгина С. А. Эксплуатация электрической части тепловых электростанций / Мотыгина С. А. – М. : Энергия, 1979. – 568 с.

62. Таран В. П. Диагностирование электрооборудования / Таран В. П. – К.: Техніка, 1983. – 200 с.

63. Справочник по наладке электрооборудования электростанций и подстанций / Под ред. Э. С. Мусаэляна. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 344 с.

64. Рожкова Л. Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций / Л. Д. Рожкова, Л. К. Карнеева, Т. В. Чиркова. – М.: изд. центр «Академия», 2007. – 448 с.

65. 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.

66. Положення про кваліфікаційну роботу у Вінницькому національному технічному університеті / О. Н. Романюк, Р. Р. Обертюх, Т. О. Савчук, Л. П. Громова – Вінниця : ВНТУ, 2014 – 26 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

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

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

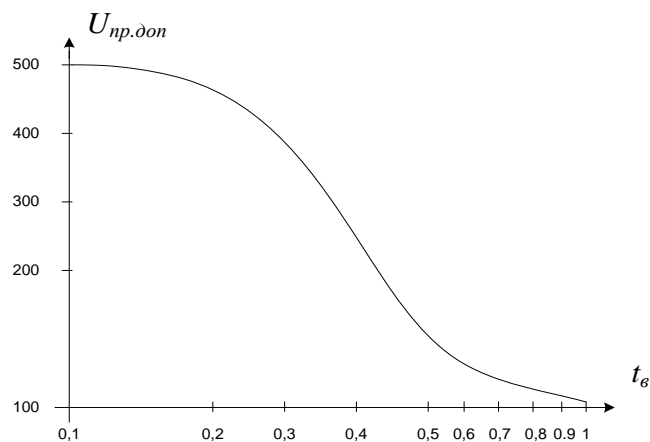


Рисунок А.1- Залежність $U_{пр.доп.}$ від t_g

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 Б

Методи і програми розрахунку заземлюючих пристроїв станцій і підстанцій

Розрахунок ЗП станцій і підстанцій виконується методам розрахунку складних заземлювачів в багатошаровій землі. Найбільше задовольняють вимоги практики проектування ЗП методи розрахунку в Білоруському державному проектному інституті і НДІ "Енергомережпроект (метод БДПІ ЕМП) " і в СіБНДІЕ (метод СіБНДІЕ). Метод СіБНДІЕ заснований на методі наведених і вузлових потенціалів. Дозволяє виконувати точний розрахунок як еквіпотенціальних, так і не еквіпотенціальних заземлювачів. Метод БДПІ ЕМП заснований на методі наведених потенціалів і дозволяє проводити точний розрахунок еквіпотенціальних заземлювачів, а також – наближений розрахунок не еквіпотенціальних заземлювачів.

Метод БДПІ ЕМП реалізований в програмах:

- "Програма вибору оптимальної конструкції заземлюючих пристроїв станцій і підстанцій", інв. № 12737тм-Т1 (Програма-1 БДПІ ЕМП);
- "Програма розрахунку заземлюючих пристроїв електроустановок", інв. №12737тм-Т2 (Програма-2 БДПІ ЕМП).

Метод СіБНДІЕ реалізований в програмах:

- "Програма розрахунку складних заземлюючих пристроїв" (Програма СіБНДІЕ).
- "Програма розрахунку заземлюючих пристроїв для підстанцій типу КТПБ по нормам на напругу дотику», розроблена в Сибірському відділенні БДПІ і НДІ "Сельенергопроект" (Програма RCSQ-1).

Програма – 1 БДПІ ЕМП. Розрахунок по програмі ведеться в автоматичному режимі при заданій базовій конструкції штучного заземлювача або його розрахунковій моделі, а також при заданих граничних умовах з урахуванням максимальної довжини вертикальних заземлювачів,

максимальної площі розширення штучного заземлювача і нормованих величин електричних характеристик ЗП. При розрахунку може бути врахований залізобетонний фундамент під обладнання, який розглядається як елемент базової конструкції, а також природні заземлювачі, вхідний опір який задається у початкових даних. Передбачається можливість прокладання горизонтальних елементів заземлювача на двох рівнях, що дозволяє при розрахунках одночасно враховувати як базову конструкцію, так і спеціальні заходи щодо зниження напруги дотику. В процесі розрахунку розв'язується задача вибору оптимальних конструктивних параметрів штучного заземлювача за критерієм мінімуму витрат металу. Сервіс програми включає: видачу розрахункових даних у вигляді, що є зручним для проектування ЗП; видачу рекомендацій по доведенню ЗП до норми у разі, коли при заданих початкових даних розв'язок відсутній; спеціальні рекомендації по регулюванню режиму роботи програми. Програма написана на мові «Delphi 6» і реалізована на ЕОМ ЕС. Максимальне число елементів заземлювача для ЕОМ, що широко використовуються, складає від 200 до 400.

Процес розрахунку програми виконується в послідовності, що встановлюється спеціальними вказівками. Тому програма рекомендується в якості основної для розрахунку ЗП підстанцій напругою 35-750 кВ, а також ЗП станцій, для яких вхідна напруга природнім заземлювачів може бути попередньо визначена.

Програма-2 БДП ЕМП. Програма дозволяє виконувати по варіантний розрахунок ЗП по заданій конструкції штучного заземлювача або його розрахунковій моделі. При розрахунку може бути врахований залізобетонний фундамент під обладнання, який розглядається як елемент штучного заземлювача, а також природні заземлювачі, вхідний опір яких задається в початкових даних. Програма дозволяє також виконувати розрахунок ЗП опор ліній електропередач по заданій його конструкції або розрахункової моделі. При цьому в якості вертикальних елементів можуть бути використані

фундаменти і підземна частина опор. Розрахунковими величинами є опір ЗП на промисловій частоті і імпульсний опір ЗП. Сервіс програми включає: видачу розрахункових даних у вигляді, зручному для проектування ЗП; спеціальні рекомендації по регулюванню режиму роботи програми. Програма написана на мові "Delphi 6" і реалізована на ЕОМ ЕС. Максимальне число елементів заземлювача для ЕОМ, що широко використовується, складає від 200 до 400.

Програму рекомендується використовувати для розрахунку ЗП підстанцій 3-20 кВ і опор ПЛ.

Програма СіБНДІЕ. Програма дозволяє виконувати розрахунок ЗП по заданій конструкції або його розрахунковій моделі. В якості елементів ЗП використовуються залізобетонні фундаменти під обладнання; ізольовані оболонки кабелів з бронею і без неї; ізольовані суцільні провідники, що сполучають різні точки ЗП; системи "трос-опори"; трубопроводи, прокладені в землі або на опорах; неізольовані оболонки кабелів. Розрахунок може проводитися і по заданих вхідних опорах природних заземлювачів. Програма дозволяє розв'язувати самостійну задачу розрахунку вхідних опорів природних заземлювачів. Також в результаті розрахунку визначаються: поздовжні струми в оболонках кабелів, горизонтальних елементах, ізольованих провідниках; значення вхідних опорів в місцях введення струму; вхідний опір природних заземлювачів; розподіл потенціалів по вузлах ЗП; значення потенціалів елементів. Сервіс програми включає: форму представлення введення інформації, що забезпечує мінімальні витрати на її підготовку; аналіз вхідної інформації для виключення помилково введених даних; довідникові дані (параметри матеріалів і тому подібне); аналіз властивостей симетрії, що дозволяє суттєво зменшити час розрахунку; видачу розрахункових даних в зручному для проектування вигляді; спеціальні рекомендації по регулюванню режиму роботи програми. Програма може бути налаштована на більший або менший об'єм елементів ЗП. Варіант програми враховує до 100 елементів штучного заземлювача і до 30 природних заземлювачів. Для розрахунку ЗП з

200 і 400 елементами штучного заземлювача і 60 та 120 природних заземлювачів необхідно 300 кБ і 2 МБ оперативної пам'яті ЕОМ. Програму рекомендується використовувати для розрахунку ЗП великих енергетичних об'єктів, а також ЗП, що характеризуються складною мережею природних заземлювачів.

Програма RCSQ -1. Програма дозволяє виконувати розрахунок 37 підстанцій типу КТПБ. Розрахунок виконується пристосовуючись до типових конструкцій ЗП КТПБ. Програма дозволяє оцінити можливість застосування тієї або іншої конструкції на основі заданих, початкових даних. Розрахунок проводиться з оптимізацією варіантів ЗП із застосуванням підсипки на території підстанції або без неї. Сервіс програми включає видачу розрахункових даних у вигляді, зручному при проектуванні ЗП.

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

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

Глибина h_c визначається шляхом порівняння потужності верхніх шарів землі.

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

Приведення вимірних параметрів електричної структури землі до розрахункових сезонних умов виконуються по виразах 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

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

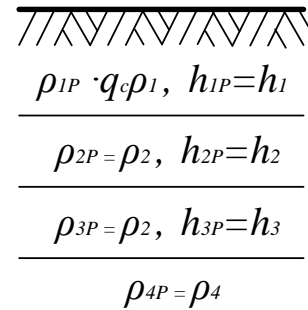
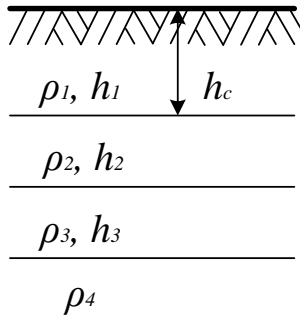
- якщо вимірювання параметрів електричної структури землі проводилися в розрахунковий сезон, то

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

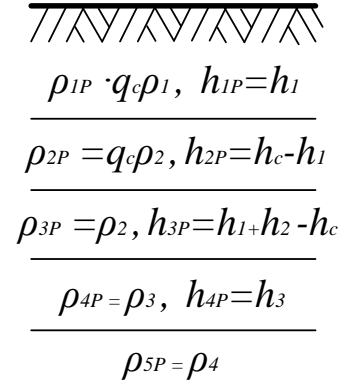
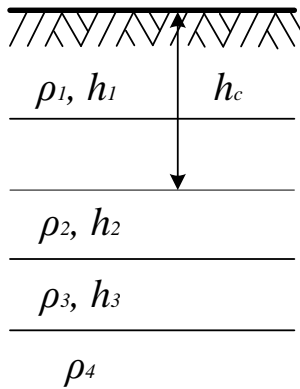
Вихідна структура землі

Розрахункова структура
землі

а) при $h_1 = h_c$



б) при $h_1 < h_c$



в) при $h_1 > h_c$

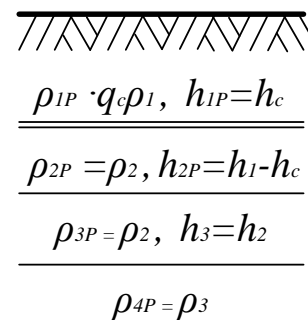
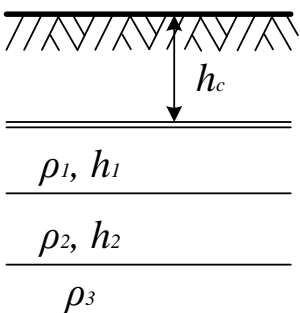


Рисунок В.1 - Приведення вимірних параметрів електричної структури землі до розрахункових сезонних умов

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