

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ННІ енергетики, автоматики і енергозбереження

УДК

ПОГОДЖЕНО

Директор ННІ енергетики, автома-
тики і енергозбереження

Каплун В.В.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри електротехніки,
електромеханіки та електротехнологій

Окушко О.В.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

На тему: «Розробка та дослідження конструкції багатоелектродного заземлювача промислового об'єкту з використанням програмного комплексу Comsol»

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка

Освітня програма «Енергетика сільськогосподарського виробництва»

Орієнтація магістерської програми: освітньо-наукова

Керівник магістерської роботи:

к.т.н.

Сорокін Д.С.

В

и

Нормоконтроль

к.т.н., доцент

Консульта́т

к.т.н., доцент

Консульта́т

к.т.н., доцент

КИЇВ - 2023

Ніконов О.В.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ННІ енергетики, автоматики і енергозбереження

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри електротехніки,
електромеханіки та електротехнологій
д.т.н. доцент Окушко О.В.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Ніконову Олексію Володимировичу

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка

Освітня програма Енергетика сільськогосподарського виробництва

Магістерська програма

Орієнтація магістерської програми: освітньо-наукова

Тема магістерської роботи «Розробка та дослідження конструкції багатоелектродного заземлювача промислового об'єкту в використанні програмного комплексу Comsol Multiphysics»

Затверджена наказом ректора НУБіП України від

Термін подання завершеної роботи на кафедру

Вихідні дані до магістерської роботи:

- Законодавчі акти та урядові документи в галузі енергетики і охорони праці.
- Нормативні і директивні матеріали з проектування, монтажу та експлуатації електроустановок.
- Каталогіві дані електрообладнання.
- Методичні вказівки до програмного комплексу Comsol Multiphysics 3.5a

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Огляд літературних джерел та інтернет ресурсів за тематикою роботи.
2. Огляд існуючих моделей заземлювачів
3. Огляд існуючих типів систем заземлення
4. Моделювання роботи заземлювача в залежності від властивостей ґрунту
5. Моделювання роботи заземлювача в залежності від ступеню окислення матеріалу
6. Моделювання заземлюваної сітки
7. Моделювання та розрахунок параметрів багатоелектродного заземлювача
8. Розробка заходів з безпеки праці та вибір захисних засобів.

Дата видачі завдання:

Керівник магістерської роботи

Сорокін Д.С.

НУБІП України

Реферат

Вступ

Розділ 1. Аналітична частина

1.1 Огляд літературних джерел та інтернет ресурсів за тематикою роботи

1.2 Діагностування систем заземлення

1.3. Огляд існуючих моделей заземлювачів

1.4 Види систем штучного заземлення

НУБІП України

Розділ 2. Моделювання режимів роботи заземлювачів

2.1. Моделювання роботи одинарного заземлювача в залежності від властивостей ґрунту

2.2. Моделювання роботи одинарного заземлювача в залежності від ступеню окислення матеріалу

2.3. Моделювання та розрахунок параметрів багатоелектродного заземлювача

2.3.1 Аналіз режимів роботи багатоелектродних заземлювачів

2.3.2 Моделювання роботи багатоелектродного заземлювача

2.3.3. Вплив багатошарового ґрунту на опір заземлювальної сітки

НУБІП України

НУБІП України

Розділ 3. Безпека праці

3.1 Перелік основних нормативних документів

3.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих чинників при роботі за комп'ютером

3.3 Інженерно-технічні заходи з охорони праці

НУБІП України

НУБІП України

Н
П
И
О
Ж
В
К
И
Ж

НУБІП України

РЕФЕРАТ

Пристрої заземлення є дуже важливим елементом у забезпеченні безпеки обслуговуючого персоналу та устаткування в разі аварійних ситуацій. Крім того, вони грають ключову роль у захисті від блискавок та в забезпеченні електромагнітної сумісності різного роду електро- та електронного обладнання. Заземлювальні пристрої складаються з заземлювачів та сполучних провідників та розташовуються на великих просторах.

У даному тексті було розглянуто та охарактеризовано питання моделювання роботи та розрахунку параметрів заземлюючих пристроїв на прикладі одинарного заземлювача. Проведено розрахунок розподілу електричного потенціалу, струму, що стікає з заземлювача та опору заземлення в залежності від питомої провідності ґрунту. Опір заземлення у двошаровому ґрунті (чорнозем/суглинок) дорівнює 14,23 Ом, що перевищує показники рекомендовані ПУЕ.

Крім того, було досліджено питання окислення штирьових оміднених заземлювачів під дією зовнішніх факторів та впливу оксидної плівки на параметри заземлювача. Розглянуто кілька випадків з різним питомим опором оксидної плівки, де розрахунки показують, що опір заземлення перевищує 100 Ом, що повністю протирічить вимогам ПУЕ.

Також було розглянуто та охарактеризовано питання моделювання роботи та розрахунку параметрів багатоелектродних заземлюючих пристроїв на прикладі заземлювача електричної опори

НУБІП України

ВСТУП

Ефективність роботи будь-якого підприємства напряму залежить від ефективності його енергопостачання та енергообладнання. При будівництві або реконструкції приміщення підприємства, необхідно проводити розрахунки та електротехнічні роботи індивідуально для кожного випадку, з урахуванням розмірів, функціонального призначення та специфіки приміщення.

Крім того, для забезпечення надійності електропостачання, необхідно встановити електрощити з необхідним захисним та комутаційним обладнанням, а також правильно прокласти внутрішні лінії електропередачі. Ці заходи дозволяють забезпечити ефективне та надійне електропостачання, яке є необхідною умовою для плавної роботи будь-якого підприємства. Всі ці електротехнічні роботи мають індивідуальний підхід та вимагають високої кваліфікації фахівців, які здатні забезпечити безперебійну та ефективну роботу електромережі.

Система заземлення є надзвичайно важливою для безпеки і ефективності роботи електричних мереж будь-якої потужності. Розрахунок і монтаж системи заземлення повинні відповідати вимогам технічних стандартів та правил, щоб забезпечити максимальний рівень надійності та безпеки електрообладнання і персоналу. Відповідно до статистики, до 80% випадків відключення електропостачання становлять пошкодження мереж напругою 10 кВ, близько 10-15% - напругою 35-110 кВ, а 15-20% - напругою 0,38 кВ. Неполадки зі зниженням ізоляції, перенапругами, перекриттями на шинках, трансформаторах та іншому обладнанні можуть призвести до відключення дорогих трансформаторних підстанцій, комутаційних апаратів та розподільчих пристроїв, термін експлуатації яких

НУБІП України

складає від 10 до 25 років. Тому важливо забезпечити належний рівень заземлення та проводити регулярний технічний огляд і обслуговування електрообладнання.

Під час функціонування електричної мережі та обладнання можуть виникати небезпечні ситуації, такі як аварійні режими, які можуть спричинити поломку електричної частини приладу або нести загрозу для працівників. Але правильно розрахована та змонтована система заземлення може допомогти запобігти негативним наслідкам стрибків напруги або появи потенціалу на корпусі обладнання. У залежності від функціональної мети систем заземлення можна розді-

лити на захисну та робочу частини. Захисна система заземлення призначена для забезпечення безпеки людей та електрообладнання, а робоча система заземлення використовується для забезпечення правильної роботи електричних пристроїв та устроїв. Важливою складовою системи заземлення є правильний вибір матеріалів та компонентів, а також розрахунок оптимальної конфігурації заземлювальної мережі, що гарантує її надійну та ефективну роботу.

Функція захисного заземлення в електричних системах і пристроях полягає в тому, що вона допомагає запобігти ураженню електричним струмом людини у разі виникнення непередбачуваних ситуацій, коли струм може пройти через металеві об'єкти, які зазвичай повинні бути неструмопровідними, наприклад, корпус електроприладу, металева рама будівлі та інше. Крім того, захисне заземлення є необхідним для захисту самого електроустаткування від можливої поломки внаслідок пробоя ізоляції, коли різниця потенціалів може стати причиною необхідності ремонту або заміни окремих деталей. Захисне заземлення забезпечує безпеку роботи з електрообладнанням та запобігає можливим матеріальним збиткам, що можуть виникнути в результаті аварійного режиму електро-системи.

Одним з ключових аспектів забезпечення безпеки електрообладнання є

правильна заземлення. Багато людей мають неправильну думку, що захисне заземлення через розетку на загальний контур заземлення будь-якого промислового об'єкту є достатнім. Проте це є помилковим мисленням, оскільки захисне заземлення захищає лише оператора, а не саме обладнання.

до перешкод та перенапруг в системах управління автоматикою, в слабкострумних системах інформаційної вимірювальної апаратури, а також в верстатах з числовим програмуванням, обладнанні медичних закладів та персональних комп'ютерах. Причинами появи таких перешкод можуть бути великі пускові струми, що виникають під час асинхронної роботи електротехніки з різним

споживанням потужності, а також імпульсні перешкоди, що виникають внаслідок протяжного ланцюга електропостачання. Такі перешкоди можуть бути шкідливими для слабкострумних мікропроцесорних пристроїв, що можуть виявити хибні сигнали, збої або відмови автоматики, збільшення похибок даних

від датчиків. Якщо на вашому підприємстві встановлено обмежену кількість обладнання, то робоче заземлення може допомогти покращити роботу вашого персонального комп'ютера. Зниження рівня плаваючого потенціалу на корпусі комп'ютера може збільшити продуктивність, уникнути збоїв роботи процесора та збільшити швидкість бездротового інтернету.

Враховуючи вищезгадані факти, можна зробити висновок, що заземлення є невід'ємною складовою будь-якої електричної мережі на промислових об'єктах.

Багато користувачів електроприладами можуть не знати про додаткові функції заземлення, окрім його основної функції відведення витоку напруги на металевий корпус обладнання.

Перш за все, заземлення забезпечує вирівнювання потенціалів всіх струмопровідних об'єктів в приміщенні, таких як заземлене обладнання та водопровід. Це допомагає уникнути виникнення несподіваних електричних розрядів, що

можуть бути небезпечними для працівників та спричинити пошкодження обладнання.

По-друге, заземлення є важливим для правильної роботи верстатів та систем електробезпеки, які включають автоматичні вимикачі, УЗО та плавкі запобіжники. Ці пристрої забезпечують додатковий рівень безпеки для працівників та обладнання, і їх правильна робота залежить від належної заземленості.

По-третє, заземлення може зняти статичний заряд, який накопичується на поверхні електрообладнання і може призвести до збою або поломки електронних блоків управління. Це може призвести до втрати записаних на мікроконтролер програм та несправностей в роботі обладнання.

Отже, належна заземленість є необхідною умовою для ефективної та безпечної роботи електричної мережі будь-якого промислового об'єкта.

Мета роботи:

Розробка та дослідження конструкції багатоелектродного заземлення.

Задані:

1. Опрацювати джерела інформації на нашу тему.
2. Огляд роботи системи Comsol Multiphysics.
3. Моделювання роботи одинарного заземлювача в однорідному ґрунті.
4. Моделювання роботи одинарного заземлювача в неоднорідному ґрунті.
5. Моделювання роботи одинарного заземлювача з урахуванням появи оксидної плівки на поверхні стрижня
6. Моделювання роботи багатоелектродного заземлювача
7. Розробка заходів з безпеки праці та вибір захисних засобів.

НУБІП України

1.1 Опрацювання джерел інформації та інтернет ресурсів.

Пристрої заземлення електроустановок є надзвичайно важливими для забезпечення безпеки персоналу та обладнання в разі аварійних ситуацій, а також для забезпечення інформаційної підтримки релейного захисту, захисту від блискавок, а також для забезпечення електромагнітної сумісності різних типів електро- та електронного обладнання[3]. Ці пристрої складаються з розгалуженої системи заземлювачів та сполучних провідників, які розташовуються на значних просторах і займають територію, де знаходяться будівлі та споруди (Рис.

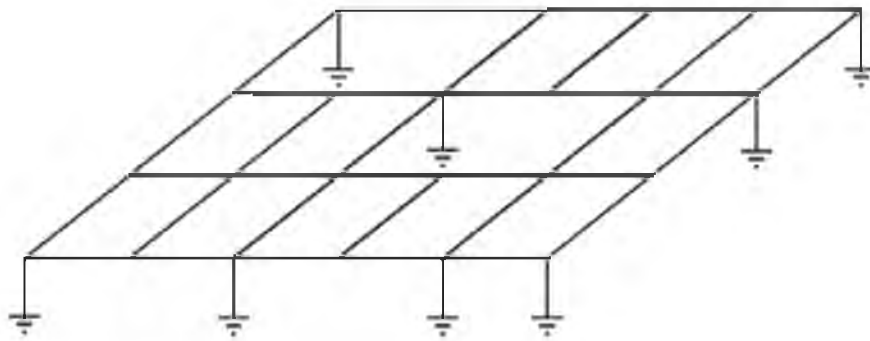


Рис. 1.1 Схематичне представлення системи заземлення

Таким чином, при створенні системи заземлення необхідно враховувати велику кількість елементів, що входять до складу цієї системи - від заземлювачів до сполучних провідників. У проєкті системи заземлення зазвичай використовуються теоретичні значення параметрів конструктивних елементів, але під час реалізації системи на практиці, реальні значення можуть суттєво відрізнитися від розрахункових. Це може стати наслідком впливу різних факторів, напри-

НУБІП України

клад, погодних умов або корозії елементів, а також ослаблення механічних з'єднань провідників. Тому важливо забезпечити постійний контроль і підтримку оптимального стану системи заземлення для ефективного функціонування всієї електроустановки.

Необхідно мати докладну математичну модель системи заземлення, яка буде побудована і супроводжуватиметься протягом експлуатації. Параметри моделі електричної схеми енергосистеми повинні мати достатній рівень точності та деталізації, щоб забезпечити аналіз та прогнозування режимів роботи в будь-який момент, при будь-яких зовнішніх впливах. Сучасні системи заземлення потребують точної та докладної математичної моделі, що згодом, ймовірно, стане обов'язковим вимогою. Можливості аналізу струмів в системі заземлення, включаючи стаціонарні, перехідні та аварійні режими, ще не повністю використовуються, особливо при застосуванні "розумних" ІТ. Реальна модель може бути створена тільки на основі досліджень живої системи заземлення в експлуатації. Це потребує застосування ідей, методів та технологій технічної діагностики, зокрема, діагностики електричних ланцюгів. Основна мета цієї роботи полягає в тому, щоб встановити зв'язок між змістовною постановкою діагностики складної СЗ та застосуванням апробованих ідей діагностики електричних ланцюгів, включаючи нову формалізацію завдання, спрямовану на практику експлуатації систем заземлення. Перші наукові дослідження в галузі діагностики електричних ланцюгів проводилися ще у 1960-х роках [3]. За період до 1980-х років теорія діагностики електричних ланцюгів була в цілому розвинена [3, 4]. Проте з початку 2000-х років роботи в цій галузі отримали новий імпульс, з'явилося багато корисних теоретичних результатів, які отримали визнання як в Україні [3, 6], так і за кордоном [6 - 7]. Нові дослідження базувалися на розумних припущеннях, пов'язаних з практичним досвідом у цій галузі.

На сьогоднішній день, активні вимірювальні кліщі з внутрішнім синусоїдальним генератором вважаються найбільш перспективним методом для діагностики систем заземлення. Цей метод полягає у застосуванні фіксованої напруги з визначеною амплітудою та частотою, яку генерують одні кліщі. Ця напруга індуктована створює струм, який вимірюється за допомогою інших кліщів. Для діагностики систем заземлення зручно використовувати матриці вхідних та взаємних провідностей, якщо тестовими впливами є джерела електричної напруги, а вимірюваними параметрами є струми в гілках. Також можна використовувати

матриці вхідних та передавальних опорів, а також різноманітні гібридні матриці.

1.2 Діагностика систем заземлення

Під час експлуатації систем заземлення виникає потреба в діагностуванні та перевірці їхньої ефективності. Для цього використовується великий обсяг відомої інформації, яка була зібрана під час паспортизації систем. Але навіть з урахуванням цієї інформації, діагностування може бути складним завданням.

Один зі способів спрощення діагностування полягає в тому, щоб припустити, що частина пасивних параметрів відома. Це може допомогти в зменшенні трудомісткості вирішення завдання.

Ще один спосіб - перевизначення завдання діагностики за рахунок надлишкових вимірювань, що дозволяє зменшити вплив помилок вимірювань.

Також можна розширити завдання, включивши діагностику активної ланцюги з джерелами струмів на землю. У такому випадку потрібно враховувати величини і місця включень цих джерел.

Варто зазначити, що системи заземлення на сучасних об'єктах представляють собою досить складну систему з багатьма елементами, параметри яких залежать від багатьох факторів. Для виміру їх параметрів потрібно проводити практичні роботи в умовах, що не завжди є лабораторними. При цьому доводиться зважати на різні практичні обмеження при побудові та супроводі математичної моделі системи заземлення.

1.3. Огляд існуючих моделей заземлення

Модель заземлювача, яка базується на розв'язанні рівнянь Максвелла з використанням програми FDTD, забезпечує найбільш точне рішення задачі. Проте, ця модель має свої обмеження. Наприклад, дискретизація розрахункового обсягу вимагає великої кількості вузлів, що зростає на 3-5 порядків більше, ніж перетин провідників. Тому потрібно штучно замкнути розрахункову область для вирішення граничних умов.

Простішою альтернативою є ланцюгова модель ЗУ, яка може бути використана в програмі EMTP. Ця модель не враховує всі електромагнітні зв'язки між елементами, а також структуру землі і екрануючі ефекти. Крім того, результатом роз-

рахунку будуть інтегральні параметри - напруги і струми елементів, а не диференціальні - напруженості електромагнітного поля, які необхідні для задач електромагнітної сумісності (ЕМС).

Для вирішення задач розрахунку ЗП потрібні дві взаємозалежні моделі - польова і ланцюгова. Польова модель дозволяє розрахувати електромагнітні параметри елементів, які використовуються в ланцюговій моделі для розрахунку струмів елементів. Після знаходження струмів (довжніх і стікаючих) для розрахунку характеристик електромагнітного поля знову використовується польова модель.

З ростом використання електронних пристроїв, задачі електромагнітної сумісності (ЕМС) стають все більш актуальними. Для розрахунків заземлювальних установок (ЗУ) в ЕМС задачах, рекомендовано використовувати різні методи. Наприклад, частотний метод найбільш підходить для врахування частотної залежності параметрів ЗУ, тоді як метод дискретних схем може бути використаний для обліку нелінійних параметрів.

У розрахунках ЗУ в ЕМС задачах використовуються ланцюгово-польові моделі, що потребують використання польових і ланцюгових моделей разом. Польова модель використовується для розрахунку електромагнітних параметрів ланцюгової схеми і аналізу електромагнітної обстановки. З іншого боку, ланцюгова модель дозволяє найбільш ефективно розраховувати струми елементів при гармонійних і імпульсних впливах. Для розрахунку перехідних процесів в ЗУ, метод дискретних схем є більш перевагою, оскільки він дозволяє враховувати нелінійні і частотнозалежні опори. Таким чином, метод дискретних схем є більш точним в порівнянні з частотним методом. Застосування розроблених математичних моделей, методів та програм для розрахунку ЗУ, дозволяє ефективно вирішувати завдання ЕМС, які виникають в електроенергетиці та інших галузях. Ці розрахунки необхідні для забезпечення правильної роботи електронних пристроїв та збереження їхньої довговічності.

1.4 Види систем штучного заземлення

Україна має свій власний нормативний документ, що регулює використання різних систем заземлення - ДБН В.2.5-28-2006 "Захист від електричного удару. Заземлення електроустановок", який був розроблений з урахуванням міжнародних стандартів та рекомендацій. У нормативному документі визначено різні типи заземлення, які позначаються скороченням відповідних українських слів: "земля"

- ЗЗ "нейтраль" - НЗ, "ізолюваний" - ІЗ, а також англійських: "комбінований" - КЗ та "роздільний" - РЗ. Використання правильної системи заземлення є дуже важливим для забезпечення безпеки електроустановок і зниження ризику виникнення аварій. Тому, при проектуванні та експлуатації електроустановок в Україні важливо дотримуватись вимог ДБН та інших нормативних документів, що стосуються заземлення.

Український національний стандарт, який регулює використання різних систем заземлення в Україні - ДСТУ 3760 [8]. Цей стандарт був розроблений відповідно до принципів, класифікації та методів пристроїв заземлювальних систем, затверджених Міжнародною електротехнічною комісією (МЕК). Для позначення систем заземлення застосовують скорочені назви, які складаються з поєднання перших літер українських та англійських слів:

Т - тверде заземлення;

М - м'яке заземлення;

С - комбіноване заземлення;

Н - заземлення з нульовою послідовністю;

Р - захисне заземлення;

СТ - заземлення з проміжним трансформатором.

Такі скорочені назви допомагають швидко та чітко визначати вид заземлення при проектуванні електричних мереж.

Заземлення є важливою складовою будь-якої електричної системи, адже воно забезпечує безпеку при використанні електроприладів. В залежності від типу заземлення можуть використовуватися різні способи його пристрою. В електротехніці розрізняють TN, TT і IT системи заземлення, кожна з яких має свої відмінності і особливості. Перша із них - TN система - використовується у трьох варіантах: TN-C, TN-S, TN-C-S. При цьому буква "Т" відповідає заземленню джерела електроенергії, а "N" - підключенню до нейтралі. У TN-C системі захисний нульовий провід і нульовий провід для передачі електроенергії є одним

провід, що може створювати проблеми з безпекою. У TN-S системі захисний нульовий провід і нульовий провід для передачі електроенергії розділені, що забезпечує більшу безпеку при використанні електроприладів. У TN-C-S системі застосовуються обидва способи, що дозволяє поєднувати їх переваги. TT система заземлення передбачає окреме заземлення кожного електроприладу і має більш високий рівень безпеки, але потребує більш складного пристрою. IT система заземлення передбачає використання ізольованого нульового проводу, що забезпечує високий рівень безпеки та стабільну роботу електричної системи. Зрозуміти відмінності та особливості кожної з систем заземлення дозволить вибрати найбільш підходящий варіант для конкретної електричної системи і забезпечити безпечну роботу електроприладів.

Системи з глухозаземленою нейтраллю (системи заземлення TN)

Ці системи позначаються в залежності від способу підключення нульових провідників функціонального і захисного приладів до джерела електроенергії. У системах TT, зокрема, нульовий провідник є заземленим на стороні споживача, а в системах IT нульовий провідник заземлено на обох сторонах, тобто як на стороні джерела електроенергії, так і на стороні споживача.

Система TN, в свою чергу, використовується в трьох різних варіантах: TN-C, TN-S та TN-C-S.

Ці системи характеризуються використанням загальної глухозаземленої нейтралі джерела електроенергії для підключення нульових функціональних і захисних провідників.

У системі TN-C провідники N та PE об'єднуються в один провідник PEN, що може бути небезпечним для людей і навколишнього середовища.

У системі TN-S провідники N та PE підключаються окремо до землі, а у системі TN-C-S використовуються як окремі провідники, так і об'єднаний провідник

У системі TN нейтралі за допомогою спеціального компенсаторного пристрою дуготасного реактора не використовується. Класична TN-C система використовує чотири проводи, три з яких є фазними, а четвертий - нульовий. В даному випадку глухозаземленою нейтраллю є основна шина заземлення, на яку необхідно з'єднати всі відкриті деталі, корпуси та металеві частини приладів, які можуть проводити електричний струм.

Система має декілька серйозних проблем, найбільшим з яких є відсутність захисних функцій у разі обриву або отгорання нульового проводу, що може призвести до небезпечної для життя напруги на неізольованих поверхнях корпусів приладів і обладнання. Також недоліком системи є відсутність окремого захисного заземлювального провідника PE

Система TN-S

Технічна система, яка використовує TN-C зі зведеними робочим та захисним нулями, має серйозні недоліки, зокрема втрагу захисних функцій у випадку обриву або отгорання нульового проводу. Це призводить до появи небезпечної для життя напруги на неізольованих поверхнях корпусів приладів та обладнання.

Більш прогресивна та безпечна система з розділеними робочим та захисним нулями TN-S була розроблена та впроваджена у 1930-х роках. Однак, ця система має досить високу вартість, оскільки поділ робочого та захисного нуля реалізується відразу на підстанції, а для підключення обох нульових провідників на стороні джерела використовується глухозаземленою нейтраллю генератора або трансформатора. У новій редакції ПУЕ міститься вимога про обов'язкове використання системи TN-S на відповідальних об'єктах та будівлях, що капітально ремонтуються. Незважаючи на це, широкому розповсюдженню та впровадженню системи TN-S перешкоджає високий рівень витрат та орієнтованість енергетики на чотирипровідні схеми трифазного електропостачання.

Система TN-C-S

Система TN-C-S з комбінованим нулем "PEN" має певні недоліки з точки зору електробезпеки, пов'язані з можливим пошкодженням або отгоранням провідника PEN. Однак, якщо виконати всі вимоги нормативних документів з охорони праці та електробезпеки, то можна забезпечити достатній рівень безпеки при експлуатації системи TN-C-S.

Для забезпечення безпеки використання системи TN-C-S необхідно виконувати такі заходи:

/ встановлювати захисні пристрої на кожній гілці електромережі, які забезпечують швидке відключення в разі появи небезпечної напруги на провіднику PE;

/ забезпечувати регулярну перевірку та обслуговування обладнання електромережі з метою виявлення можливих пошкоджень та їх вчасного усунення;

/ використовувати електрообладнання, яке має подвійну ізоляцію та недоступне для дотику провіднику РЕ;

/ забезпечувати правильний монтаж та заземлення всіх електроприладів.

Отже, при виконанні всіх необхідних вимог можна забезпечити безпечну та ефективну експлуатацію системи TN-C-S з комбінованим нулем "PEN". Однак, якщо існує можливість, краще використовувати більш безпечні та надійні системи TN-S або TN-C, які не мають таких недоліків.

Система заземлення TT

При забезпеченні електропостачання для віддалених сільських та позаміських районів, використання традиційної TN-C-S системи може створювати проблеми зі забезпеченням належного захисту провідника комбінованої землі PEN. Тому сьогодні все частіше використовується система TT, яка передбачає "глухе" заземлення нейтралі джерела та передачу трифазного струму по чотирьох проводах.

Четвертий провід є функціональним нулем "N". На стороні споживача зазвичай використовується модульно-штиревий заземлювач, до якого підключаються всі провідники захисної землі РЕ, пов'язані з корпусними деталями.

У міській місцевості система TT є досить популярною для електрифікації точок тимчасової торгівлі та надання послуг. Однак, при застосуванні такої системи, обов'язковою умовою є наявність приладів захисного відключення та проведення технічних заходів щодо грозозахисту.

Отже, застосування системи TT для забезпечення електропостачання віддалених районів та точок тимчасової торгівлі та надання послуг може бути більш безпечним та ефективним варіантом, який дозволяє забезпечувати належний захист провідника комбінованої землі PEN та зменшувати ризик небезпеки для споживачів. Однак, для забезпечення належної безпеки використання такої системи потребує наявності відповідних захисних пристроїв та грозозахисних заходів.

Системи з ізольованою нейтраллю

НУБІП УКРАЇНИ

Безпека та надійність електропостачання є ключовими факторами для будь-якої системи, що використовує електричний струм. Ізольована нейтраль та заземлення є важливими компонентами систем забезпечення електробезпеки.

Недоліком систем з пов'язаною з землею нейтраллю є високий ризик ураження електричним струмом в разі виникнення нещодавніх в обладнанні. У цьому випадку, можливість отримання травм чи важких ушкоджень збільшується. Тому системи з ізольованою нейтраллю стають більш безпечними та надійними альтернативами.

В системі з ізольованою нейтраллю, як в системі IT, не використовується заземлення для забезпечення електричної безпеки. Замість цього, напруга передається за допомогою мінімально можливої кількості проводів, забезпечуючи таким чином безпеку та надійність функціонування.

Системи з ізольованою нейтраллю часто використовуються в медичних установах, на підприємствах нафтопереробки та енергетики, наукових лабораторіях та інших відповідальних об'єктах. Це забезпечує надійне та безпечне функціонування обладнання життєзабезпечення та інших важливих систем.

У будь-якій системі заземлення, головною метою є забезпечення безпечного та надійного функціонування електричних пристроїв та обладнання. Система заземлення повинна забезпечувати відсутність небезпечної напруги на струмопроводах корпусів побутових приладів та промислового обладнання, що може бути небезпечним для життя.

РОЗДІЛ 2. МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЗАЗЕМЛЮВАЧІВ

2.1. Моделювання роботи одинарного заземлювача в залежності від властивостей ґрунту

НУБІП УКРАЇНИ

Для підвищення ефективності передачі енергії та забезпечення надійності роботи релейних захистів, необхідно виконати розрахунок розподілу струмів та напруг в лініях електропередач в перехідному та усталеному режимах, а також обчислити електростатичне та магнітне поля лінії. Важливо зазначити, що аналітичні методи можуть бути використані для розрахунку параметрів лінії в усталеному режимі, але для аналізу перехідних процесів доцільніше використовувати чисельні алгоритми [5].

Сучасні технології безпеки стають все більш актуальними. Для захисту житлових будівель встановлюють громовідводи, які складаються з молниеприймача (металевого стрижня), токозводного шнура та заземлювача [3]. Заземлювач може бути простим металевим стрижнем (зазвичай сталевим) або складним комплексом спеціальної форми. У житлових будівлях та спорудах використовують "горизонтальні" та "вертикальні" заземлювачі. В обох випадках електроди розташовуються в ґрунті на потрібній глибині, щоб уникнути їх пошкодження під час роботи машин. Глибини вертикальні електроди є найбільш економічним та ефективним варіантом, оскільки забезпечують добре проведення електричного струму через шари ґрунту [4]. Ми запропонували просту та зручну у використанні програму чисельного моделювання стрижневого заземлювача для побутових та промислових потреб.

В програмному комплексі Comsol Multiphysics було розроблено імовірно найбільш точну модель розрахунку електростатичного поля стрижневого заземлювача (див. рис. 2.1). Ця модель дозволяє визначити розподіл потенціалу в ґрунті, а також опір заземлювача R_3 при заданих значеннях провідності ґрунту γ , струму заземлювача I_0 , довжини l і діаметра d . Крім того, можливим є розрахунок потенціалу на поверхні землі і крокової напруги, що дозволяє оцінити ефективність заземлення в певних умовах.

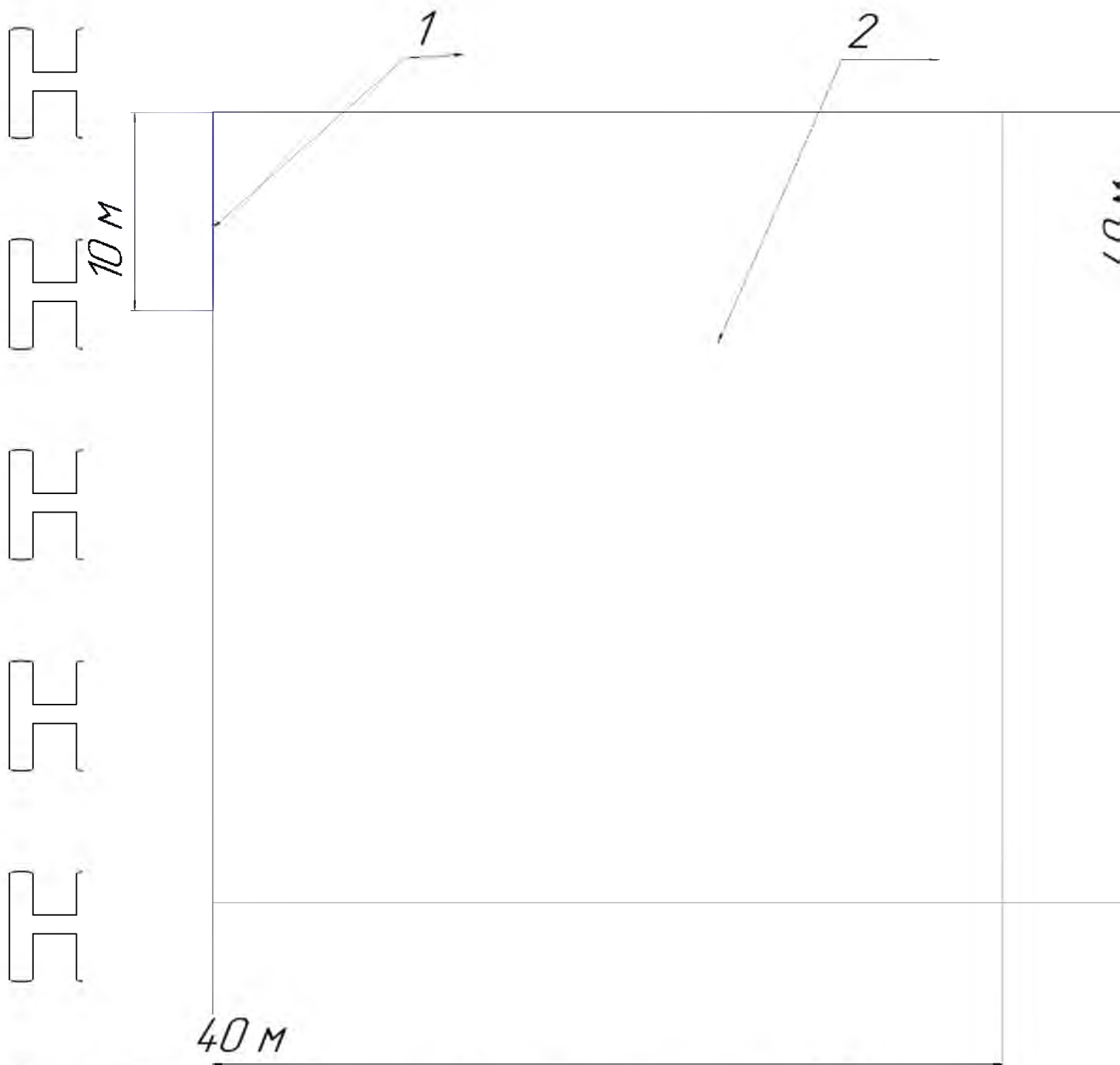


Рис. 2.1. Розрахункова область 1 – Заземлювач, 2 – Грунт

Для визначення розподілу напруги на поверхні заземлювача було проведено обчислення за допомогою програмного комплексу Comsol Multiphysics. В

якості прикладу був взятий стрижень довжиною 10 м та діаметром 0,05 м, до

якого було прикладено напругу 220 В. Отримані результати показали, що значення потенціалу зменшується зі збільшенням відстані до стрижня. Також виявилось, що розподіл потенціалу залежить від діаметра та опору заземлювача.

Це відповідає закону зменшення напруги зі збільшенням відстані до джерела.

Прийнято до уваги два варіанти.

- Розподіл напруги на поверхні стрижня заземлення в однорідному ґрунті (пісок, піщані ґрунти, рис. 2.2)
- Розподіл напруги на поверхні стрижня заземлення в двошаровому ґрунті (чорнозем/суглинок, рис 2.4)

Питома провідність однорідного піщаного ґрунту дорівнює $0,003 \text{ См}$.

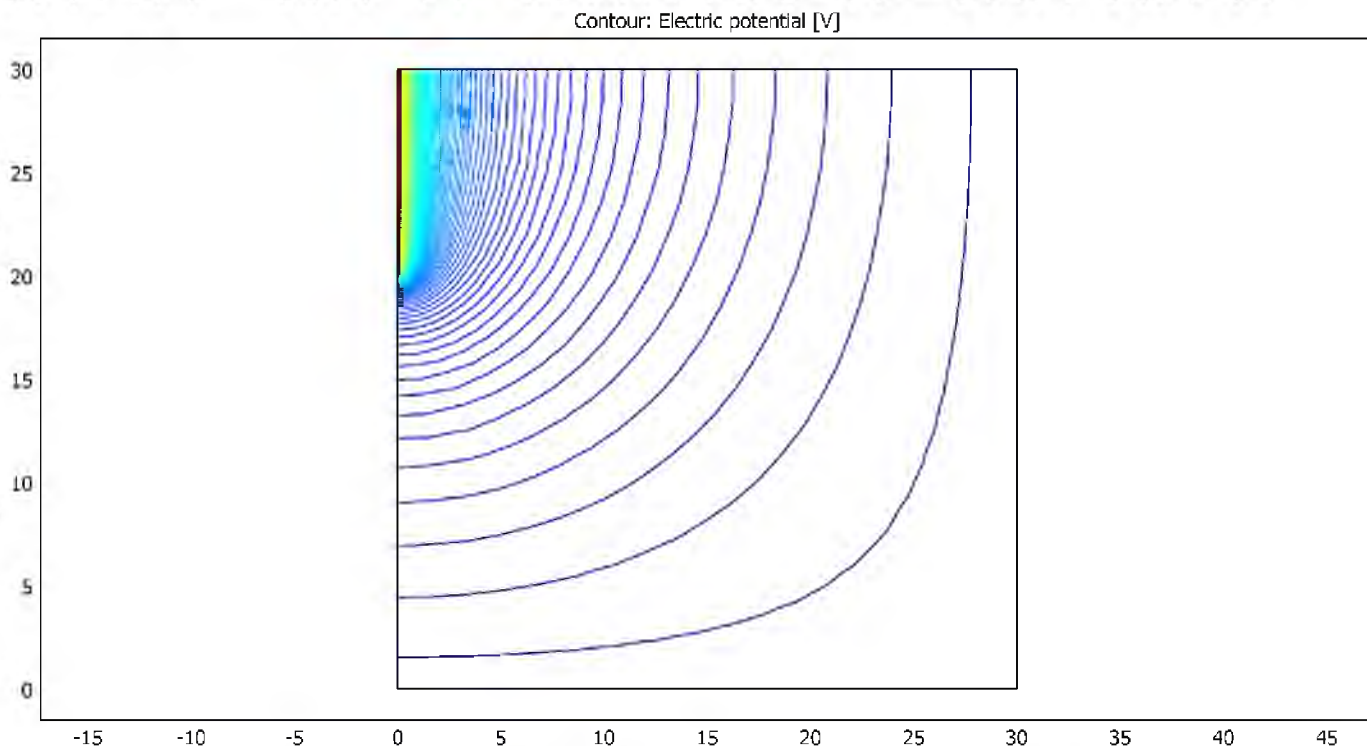


Рис. 2.3 Розподіл електричного потенціалу навколо одинарного заземлювача. Одншаровий ґрунт.

Зазначимо, безпечна відстань при спрацюванні заземлення більше глибини заземлювача ($>10\text{м}$).

Струм витoku визначається за формулою

$I = \int_S j_n 2\pi r dr$
де S – контур границі перерізу заземлювача, j_n – густина струму на поверхні заземлювача; r – радіальна координата точки на поверхні заземлювача.

Струм, який за таких умов роботи стікає з заземлювача дорівнює $I=3,44A$.

Опір розтікання вираховується за формулою
 $R = \frac{U}{I}$

де U - потенціал заземлювача.

Опір $R=64$ Ом. Це значно більше норми встановлені у ПУЕ [8].
Для моделі роботи заземлювача у двошаровому ґрунті (рис. 2.4) питомий опір верхнього шару (чорнозем) приймається рівним 0,05 Ом, нижнього (суглинок) 0,01 Ом.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

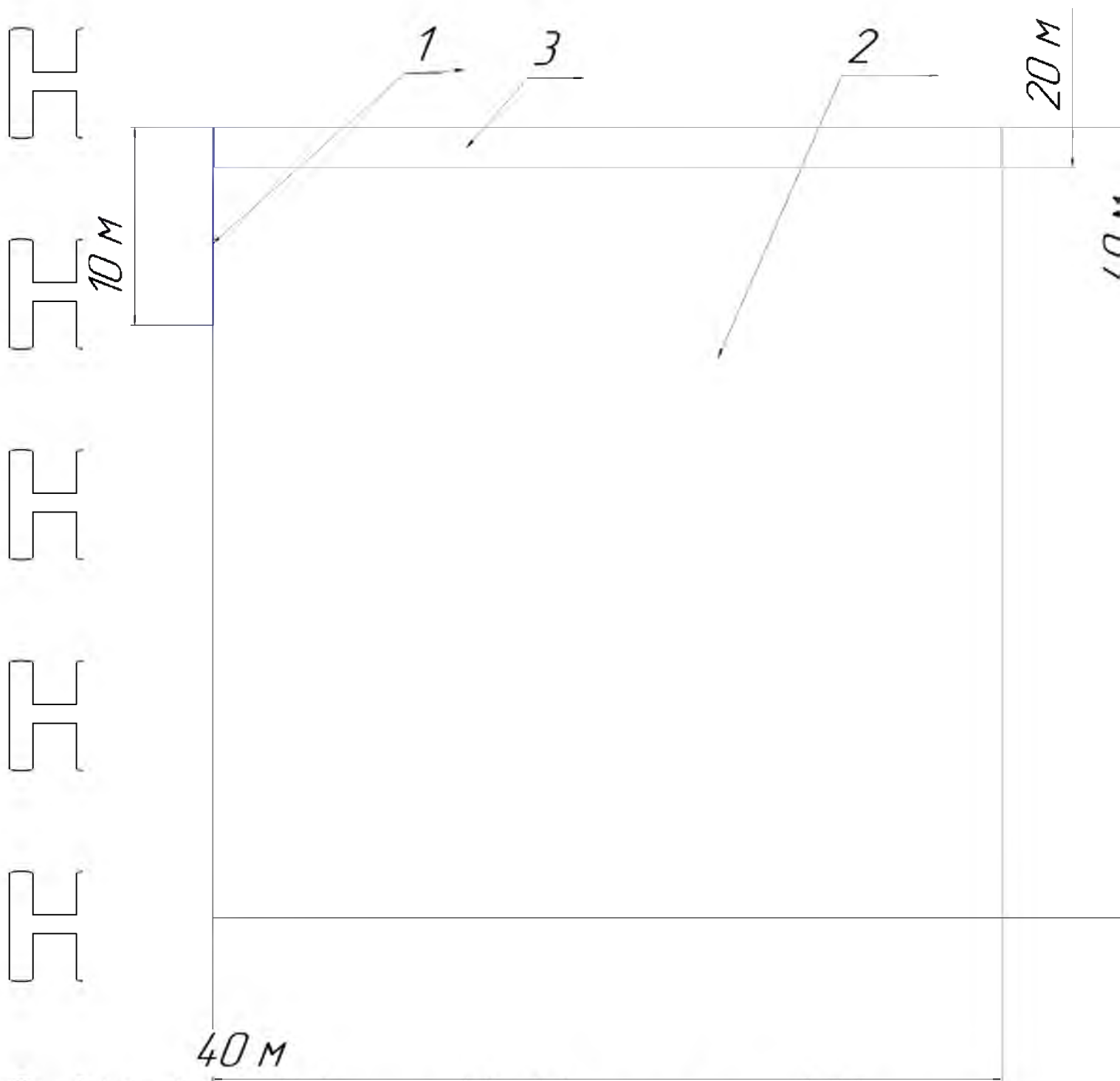


Рис. 2.4 Розрахункова область 1 – Заземлювач, 2 – Грунт (суглинок), 3 – Грунт (чорнозем)

НУБІП України

НУБІП України

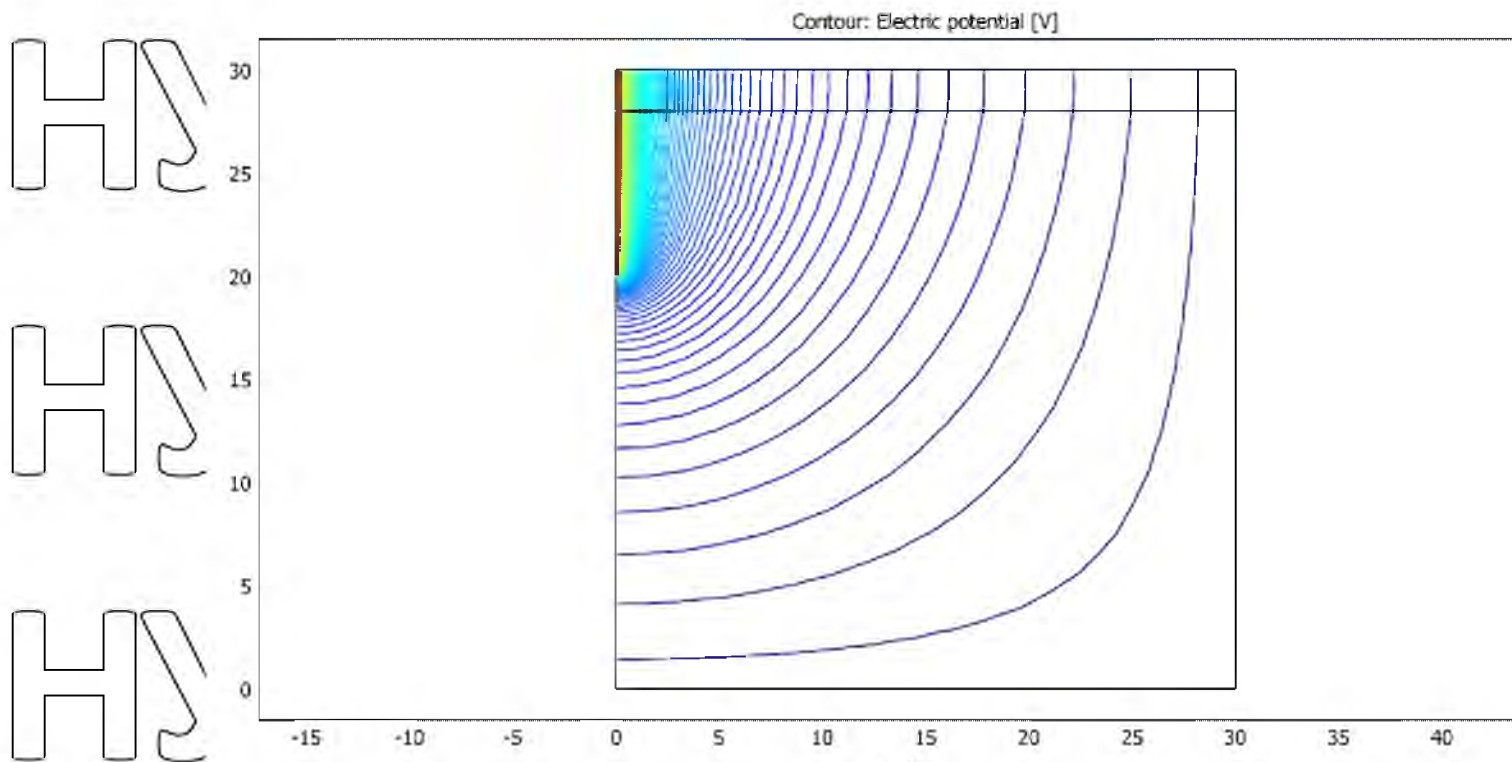


Рис. 2.5 Розподіл електричного потенціалу навколо одинарного заземлювача.

Двошаровий ґрунт.

Безпечна відстань до заземлювача є дуже важливим параметром при проектуванні електричних мереж. Якщо вона не виконується, це може призвести до небезпечних ситуацій, таких як ураження електричним струмом. У даному випадку, безпечна відстань перевищує глибину заземлювача, що є позитивним фактором.

Однак, струм, який стікає з заземлювача, складає 15,46 А, що є великою кількістю електричного струму. Також, розрахований опір заземлення перевищує норми, встановлені у Правилах улаштування електроустановок (ПУЕ). Це може свідчити про те, що в умовах півночі України використання одинарних заземлювачів не забезпечує належного ступеню захисту. Необхідно додатково дослідити і розглянути можливі варіанти покращення захисту електричних мереж в даній області.

2.2. Моделювання роботи одинарного заземлювача в залежності від ступеню окислення матеріалу

Для створення модульного штир'явого заземлення використовують одинарний глибинний електрод, який може бути заглиблений до 40 метрів. Але незважаючи на це, він не буде суцільною трубою, а буде складатися з кількох стрижнів діаметром від 1.5 до 2.0 метрів. Кожен стрижень заглиблюється по черзі, поки не буде досягнуто задовільного опору заземлювального пристрою. Щоб забезпечити цю стабільність, кожен стрижень з'єднується з іншим за допомогою сполучної муфти, яка має нарізану різьбу. Цей процес повторюється до тих пір, поки вимірний опір заземлюючого пристрою не виявиться задовільним. Щоб забите заземлення не втратило свої властивості за 2-3 роки його потрібно захистити від корозії:

- використовувати нержавіючу сталь
- нанести покриття з цинком
- нанести покриття з міді товщиною до 250 мкм (мідь створює захисний шар який не пропускає вологу до заліза)

Але всеодно є багат проблем, при забиванні заземлення. В кам'янистому ґрунті на різних глибинах знаходиться багато каміння і. Із-за цього стрижень отримує фізичні пошкодження і мідна оболонка стирається і втрачає герметичні якості тим самим заземлення швидко втрачає свої властивості. Тому ми не можемо використовувати такий метод в кам'янистому ґрунті.

Найчастіше для забивання заземлення використовують такий інструмент:

- перфоратор
- відбійний молоток

При різних глибинах зручніше використовувати різний інструмент. Наприклад для глибоко заземлення (від 6 до 30 м.) зручніше використовувать відбійник. А для не глибокого - перфоратор

Для забезпечення надійного електричного контакту у сполучній муфті зазвичай використовують латунний сплав, що містить мідь та цинк. При правильному з'єднанні стрижні повинні бути впритул один до одного, а муфта слугує для утримання осей у вертикальному положенні. Важливо зауважити, що ударні навантаження, які виникають під час використання відбійних молотків, повинні передаватися від стрижня до стрижня, тоді як муфта не повинна взагалі брати участі у цьому процесі.

Зі збільшенням глибини, стрижні заземлювача досвідчують все більші ударні навантаження, тому важливо правильно з'єднати їх за допомогою сполучної муфти. Неправильне з'єднання може призвести до поломки муфти, втрати електричного контакту і непоправних пошкоджень забитих штирів.

У програмному комплексі Comsol Multiphysics розроблено модель для розрахунку електростатичного поля стрижневого заземлювача (див. рис. 2.6). За заданих значень провідності ґрунту γ , струму заземлювача I_0 , його довжини l та діаметру d , ця модель дозволяє визначити опір заземлювача R_3 та розподіл потенціалу в ґрунті. Крім того, за допомогою цієї моделі можливий розрахунок потенціалу на поверхні землі та крокової напруги.

На рис. 2.6 розрахунок потенціалу електричного поля одинарного заземлювача при наявності на його поверхні плівки оксиду товщиною $0,1$ мм і провідністю 10^{-6} См.

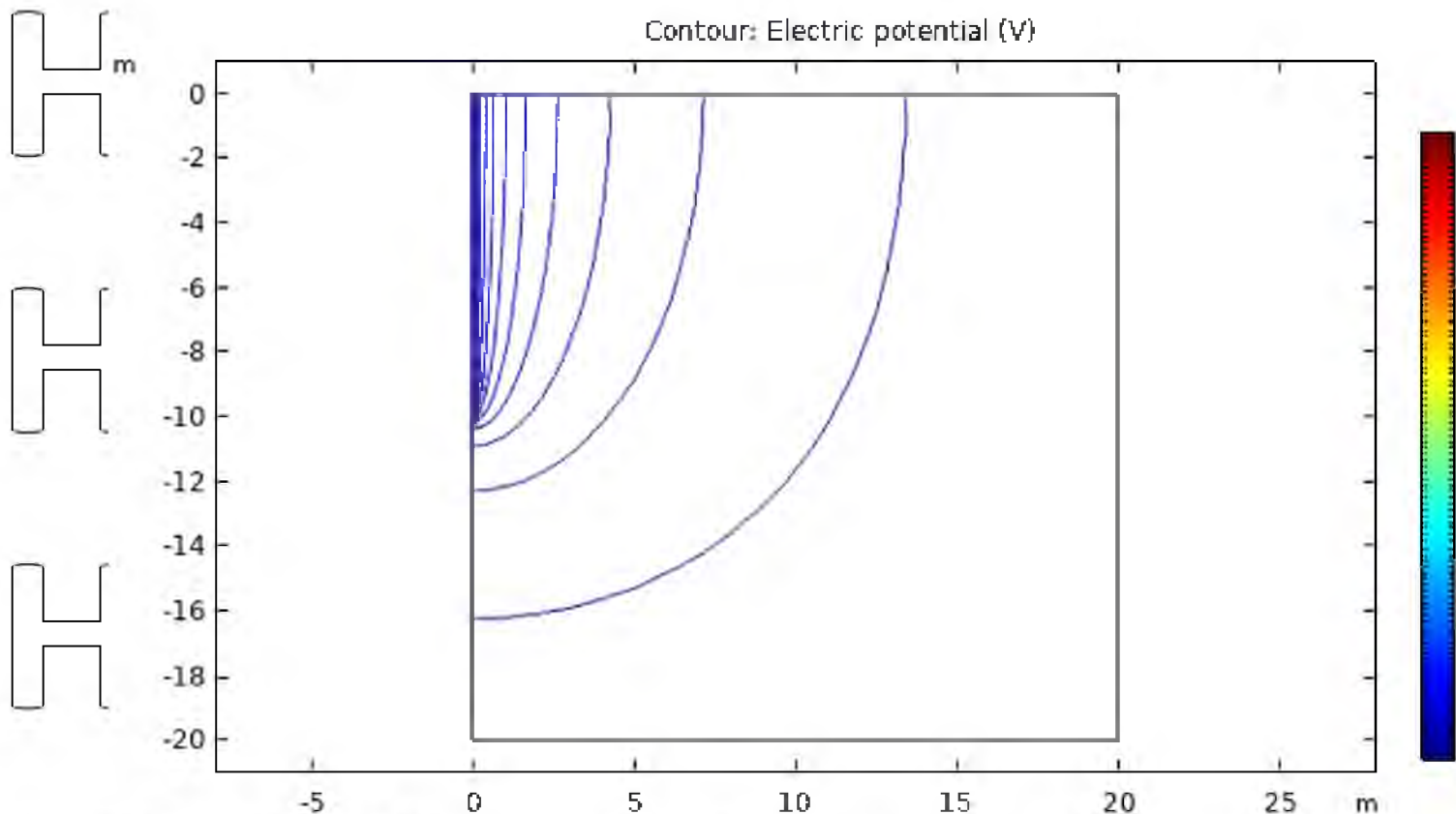


Рис. 2.6 Потенціал електричного поля, одинарного заземлювача при наявності плівки окислу провідністю 10^{-6} См

Очевидно, що безпечна відстань від заземлювача зменшилася в декілька разів у порівнянні з незаржавілим заземлювачем (>3 м).

Розрахунок струму, який протікає з заземлювача, проводиться за формулою, яка включає такі параметри, як опір заземлювача, номінальний струм, що проходить через заземлювач, та опір ґрунту.

У комплексі програм Comsol Multiphysics виконано моделювання електричних параметрів заземлювача, зокрема розподілу потенціалу в ґрунті та визначення крокової напруги, що дозволяє встановити ефективність заземлення та безпеку роботи.

$$I = \int_S j_n 2\pi r dS$$

S – контур границі перерізу заземлювача;

J_n - густина струму на поверхні заземлювача;

r - радіальна координата точки на поверхні заземлювача.

Значення опору заземлювача $R=711 \text{ Ом}$ є неприйнятним і не відповідає вимогам ПУЕ [8]. Такі значення можуть свідчити про недостатню якість монтажу заземлювача або про деградацію ґрунту, в який він вбитий.

У цьому випадку необхідно провести переробку системи заземлення і переобладнання, щоб забезпечити безпеку електроустановок і протистояти можливій електричній небезпеці.

На рисунку 2.7 представлений розрахунок потенціалу електричного поля одинарного заземлювача за наявності плівки окислу на його поверхні, яка має провідність 10^{-4} См .

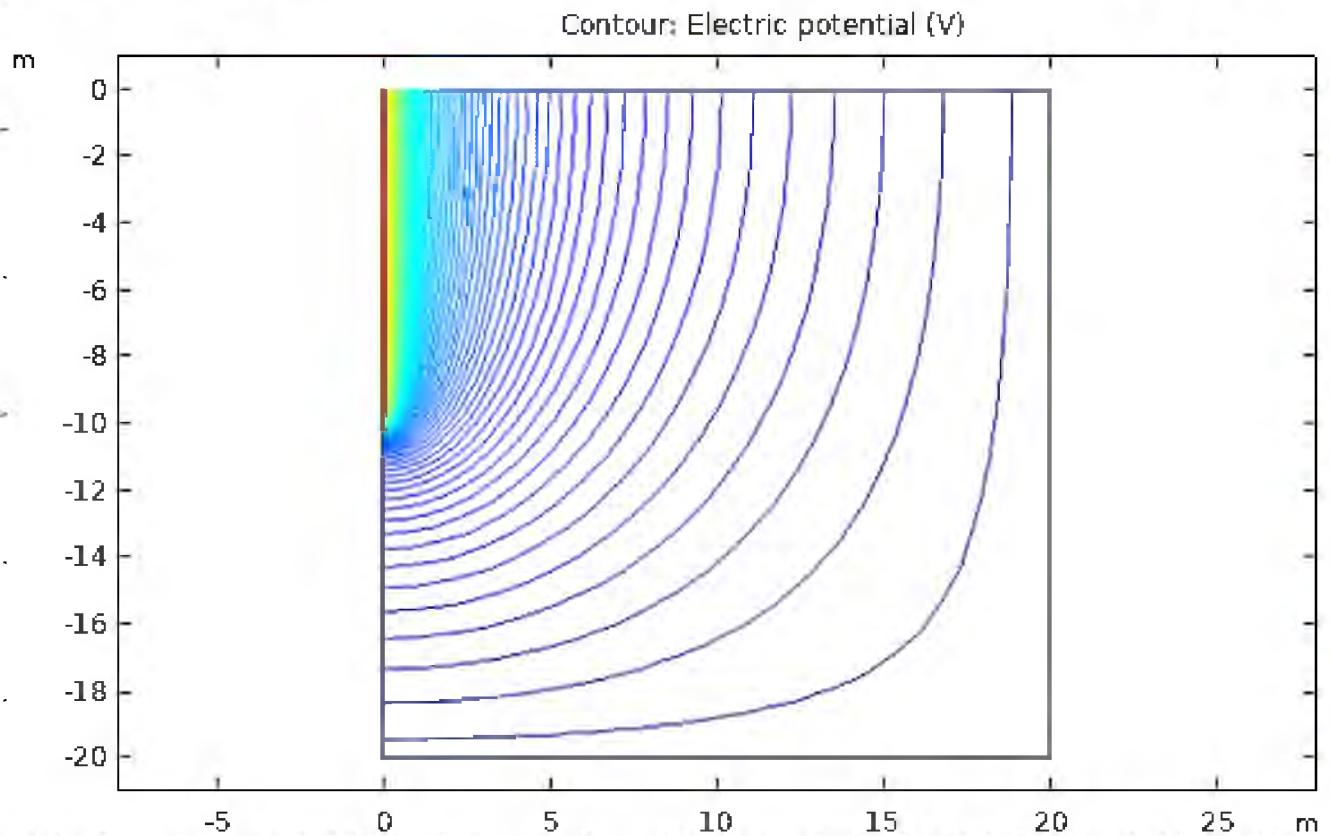


Рис. 2.8 Потенціал електричного поля одинарного заземлювача за наявності плівки окислу на його поверхні, яка має провідність 10^{-4} См

Застосування правильної системи заземлення має велике значення для забезпечення безпеки людей та обладнання. У даному випадку, струм, що стікає з заземлювача, може бути обчислений за допомогою формули, яка залежить від опору заземлення. Значення струму у цьому випадку становить 2,37 А, а опір заземлення 92,8 Ом

НУБІП України

Contour: Electric potential (V)

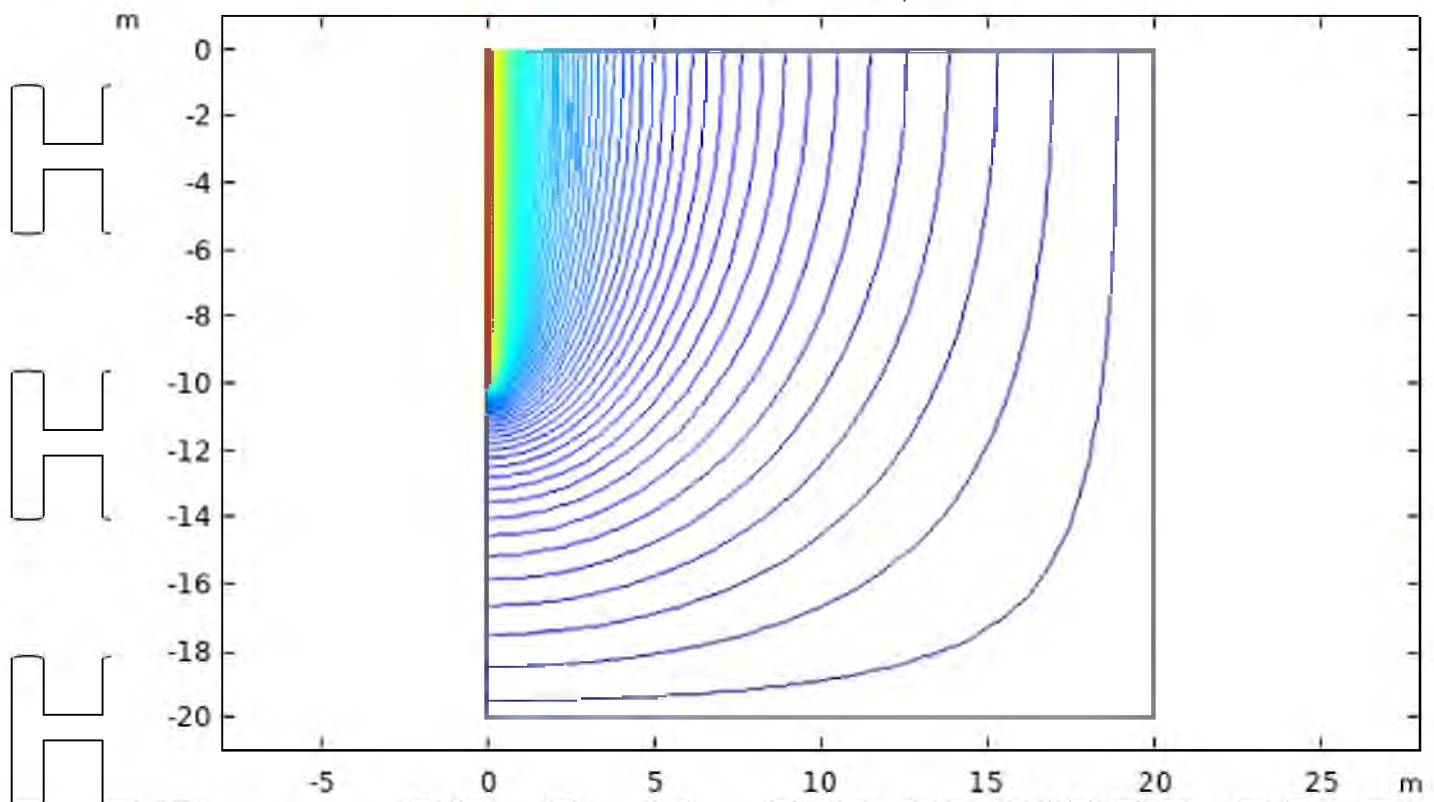


Рис. 2.9 Потенціал електричного поля одинарного заземлювача при наявності плівки окислу провідністю 10 См

НУБІП України

За вказаних умов роботи, струм, що стікає з заземлювача, становить 2,37 А, а його опір заземлення складає 92,8 Ом. Розрахунки були здійснені для піщаних ґрунтів з провідністю 0,001 См. Проте, ці значення не відповідають нормам, встановленим Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ) [8].

НУБІП України

У такому разі, необхідне використання групи заземлювачів для зменшення опору заземлення або більшого заглиблення стрижнів, щоб забезпечити безпечну експлуатацію електроустановок.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

3. Моделювання та розрахунок параметрів багатоелектродного заземлювача

2.3.1 Аналіз режимів роботи багатоелектродних заземлювачів

Ушкодження робочої ізоляції можуть виникати не тільки в елементах електричного кола, але й на повітряних лініях електропередачі. Це може бути результатом різних причин, таких як обрив проводу, перекриття або пробоя ізоляторів. Якщо такі пошкодження виникають, то струм може протікати через пошкоджену опір, а іноді навіть через сусідні. Цей процес призводить до появи потенціалу на опорі, а отже, і напруг дотику та крокових напруг. Для того, щоб захистити людей, що знаходяться поруч з пошкодженою опорною, опори приєднуються до спеціальних заземлюючих пристроїв, які зменшують опір розтікання струму в землі.

Опори на повітряних лініях електропередачі можуть бути дерев'яними або металевими. На дерев'яних опорах потенціал практично не може з'явитися, тому захисне заземлення на них навіть при наявності металевих траверс не виконується. Захисне заземлення на опорах ПЛ напругою понад 330 кВ також не виконується через наявність швидкодіючих захистів і складності заземлювального пристрою для забезпечення безпечної величини напруги дотику і кроку.

Системи на повітряних лініях електропередачі - це складні інженерні споруди, які необхідно регулярно перевіряти на наявність пошкоджень і забезпечувати їх захист від різноманітних ризиків. Одним з таких ризиків є ушкодження з порушенням робочої ізоляції, яке може статися внаслідок обриву проводу, перекриття або пробоя ізоляторів і т.д. Такі пошкодження можуть викликати протікання струму через пошкоджену опору і призвести до появи потенціалу на опорі, а отже, і напруг дотику і крокових напруг.

Для захисту людей, які знаходяться поблизу з пошкодженою опорою, опори приєднуються до спеціальних заземлюючих пристроїв для зменшення опору розтікання струму в землі. Однак, на дерев'яних опорах потенціал практично не може з'явитися, тому для них навіть при наявності металевих траверс захисне заземлення не виконується. Захисне заземлення на опорах ПЛ напругою понад 330 кВ також не виконується в силу наявності швидкодіючих захистів і складності заземлювального пристрою для забезпечення безпечних величин напруги дотику і кроку.

Заземлюючі пристрої також необхідні для захисту ліній електропередачі від блискавок. Головним засобом захисту від блискавок на ВЛ є підвіска грозозахисного троса, який дозволяє відвести імпульсні струми, що виникають в результаті прямого удару блискавки в опори або грозозахисні підвісні троси, в землю. До заземлювального пристрою підключаю

На високовольтній лінії передачі електроенергії (ПЛ) безпека є однією з найважливіших складових. Один з головних аспектів безпеки – це захист лінії від блискавок. Якщо ПЛ не захищена від блискавок, це може призвести до серйозних наслідків, таких як пошкодження обладнання, аварійна зупинка, пожежа і травми для працівників.

Один зі способів захисту лінії від блискавок - це встановлення грозозахисного троса. Це важлива складова системи захисту від блискавок на ПЛ, оскільки вона дозволяє відводити струми від блискавок в землю. Проте, щоб грозозахисний трос працював ефективно, необхідно заземлення опор.

Заземлення опор на ПЛ є не менш важливим, ніж встановлення грозозахисного троса. Воно дозволяє відводити струми, що виникають під час прямого удару блискавки в опори або грозозахисні троси, в землю. Це допомагає підвищити рівень безпеки лінії, знизити ризик пошкодження обладнання та забезпечити правильну роботу релейного захисту та автоматики.

Іншим важливим елементом захисту від блискавок на ПД є заземлюючі спуски. Вони використовуються для підключення заземлювача до опори та забезпечення плавкого відведення струмів від блискавок у землю. Заземлюючі спуски можуть бути виконані з металевих конструкцій або залізобетонної арматури, залежно від типу опори. Спусків має бути не менше двох. Один кінець заземлюючого спуску приєднують до заземлювача, а другий до заземлюючих елементу.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

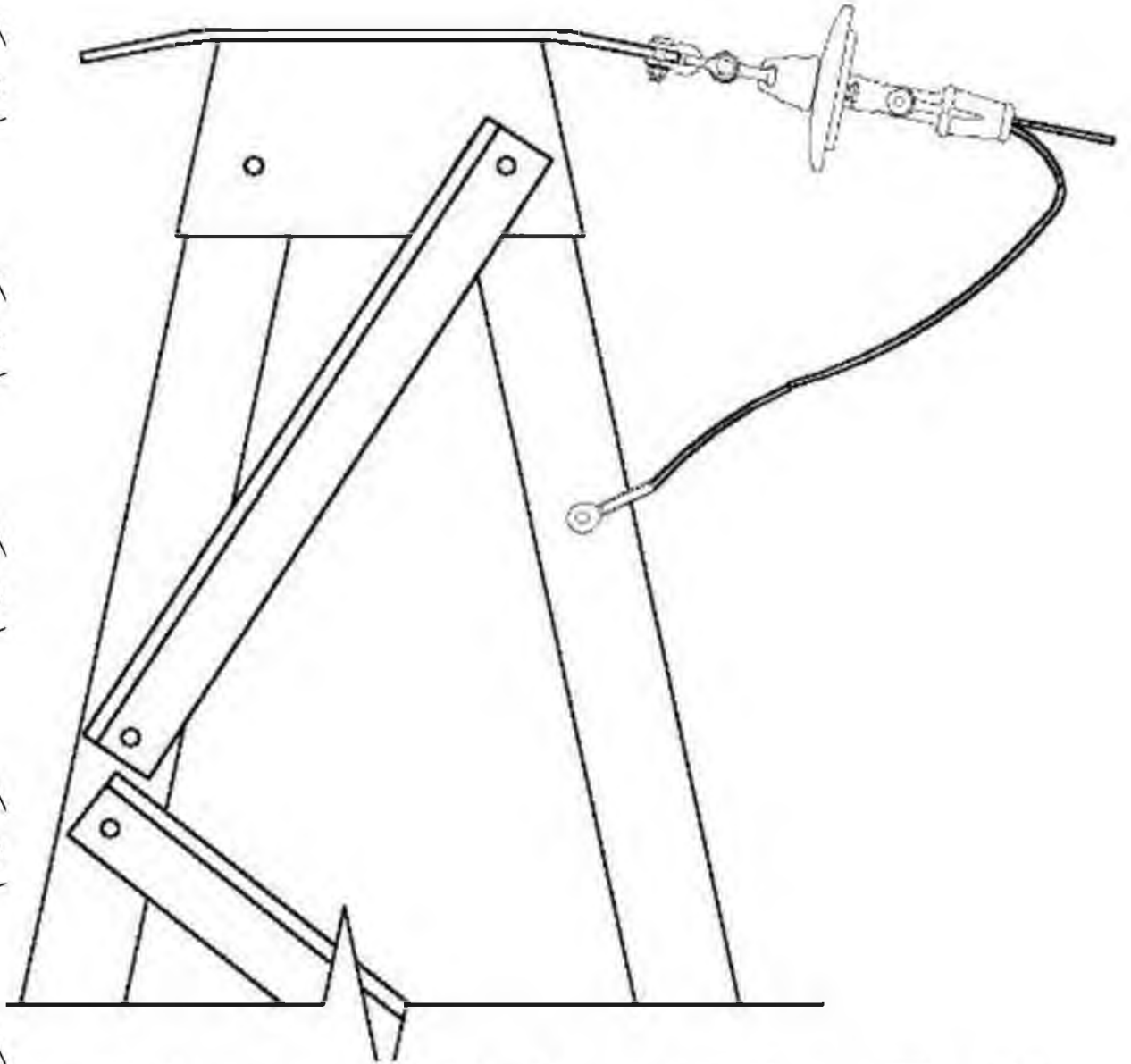
НУБІП України

НУ

НУ

НУ

НУ



НУ

Рис. 2.9 Підключення заземлюючих елементів до заземлювача на металевих опорах

НУБІП України

НУБІП України

Правила встановлення електроустановок мають чітко визначений максимальний опір заземлювального пристрою опор, що залежить від кількох факторів. Зокрема, висота опор, кількість ланцюгів ВЛ, кількість грозових розрядів, висота ПЛ над рівнем моря та тип місцевості, через яку проходить лінія. Для забезпечення правильного опор повинні бути враховані всі ці чинники, і він повинен бути розрахований на літній період, тобто без урахування можливості промерзання ґрунту.

Для забезпечення безпеки та стабільності роботи електропередачі, опори ПЛ різної напруги повинні мати ефективний заземлювальний пристрій. При проектуванні та будівництві залізобетонних опор напругою до 35 кВ, опір заземлювального пристрою може бути забезпечений лише штучними заземлювачами. Однак для опор ПЛ 110 кВ, якщо питомий опір ґрунту не перевищує 1000 Ом·м, як природні заземлювачі можуть використовуватися залізобетонні фундаменти опор, які можуть бути збірними, монолітними, палівними або набивними.

Проте необхідно враховувати, що такі фундаменти не повинні мати гідроізоляції полімерними матеріалами, та необхідно забезпечити металевий зв'язок між анкерними болтами та арматурою фундаменту. Для забезпечення надійності та ефективності роботи заземлювального пристрою, проектувальники та будівельники повинні враховувати кількість ланцюгів ВЛ, число грозових розрядів, висоту розташування ПЛ над рівнем моря та тип місцевості, через яку прокладається лінія передачі електроенергії.

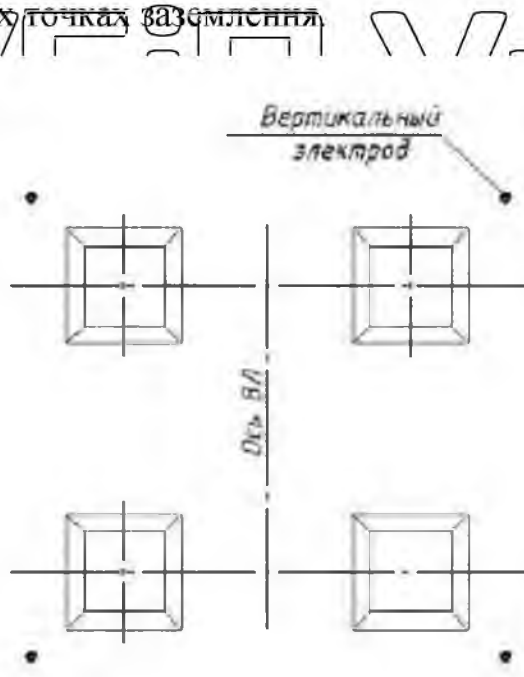
Штучні заземлювачі в електроустановках є важливими складовими для забезпечення безпеки та надійності їх роботи. Вони представляють собою металеві провідники, що безпосередньо контактують з ґрунтом, і розташовуються поруч з опорами. Проектування заземлюючих пристроїв повинно враховувати тип фундаменту опори та розташування стійок.

НУБІП України

Одним з важливих факторів є величина питомого опору ґрунту, яка визначає оптимальний розмір та розташування штучних заземлювачів. Крім того, необхідно забезпечити відповідну металеву зв'язок між анкерними болтами та арматурою фундаменту, що забезпечить ефективне використання природного заземлення.

Для забезпечення надійності та стійкості роботи заземлюючих пристроїв рекомендується використовувати групу заземлювачів, розташованих поруч з кожною стійкою опори. Це забезпечить створення численних шляхів току блискавки або пошкодження, що стікає з опори в землю, та знизить його концентрацію

в окремих точках заземлення.



а)

НУБІП України

НУБІП України

НУБІЛ ПІДКРАЇНИ

НУБІЛ ПІДКРАЇНИ

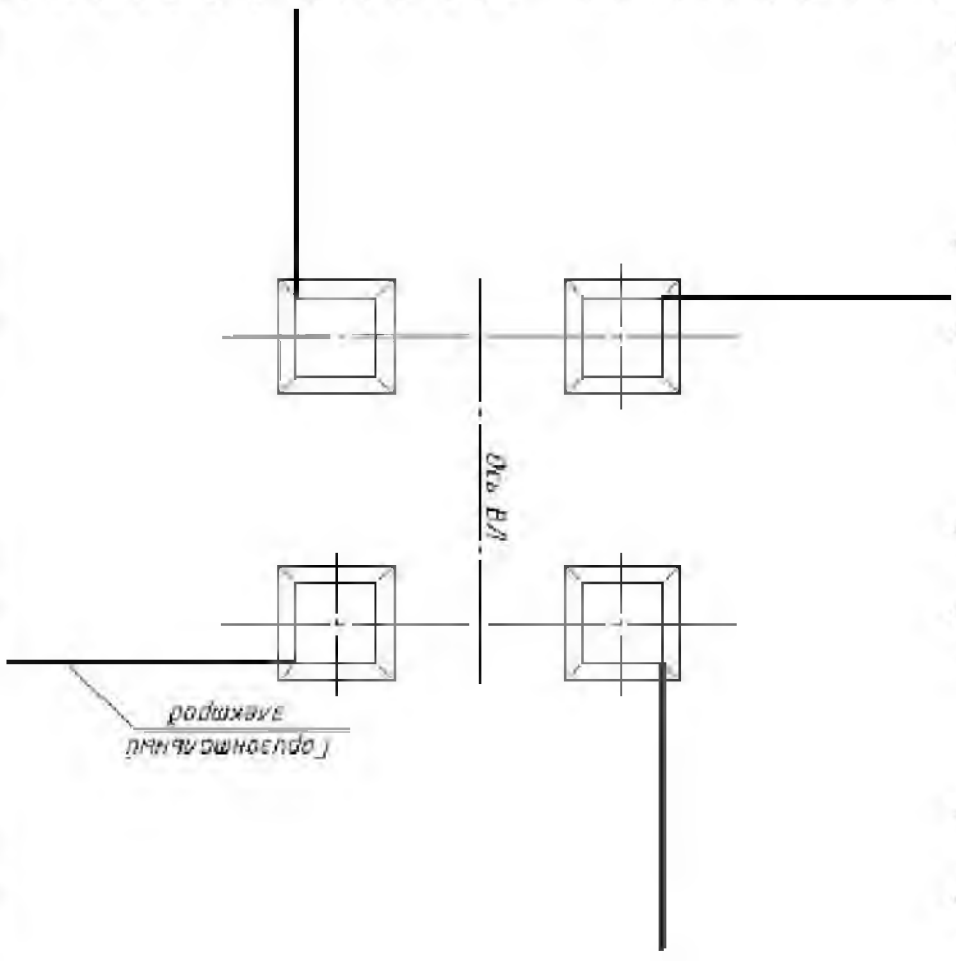
НУБІЛ ПІДКРАЇНИ

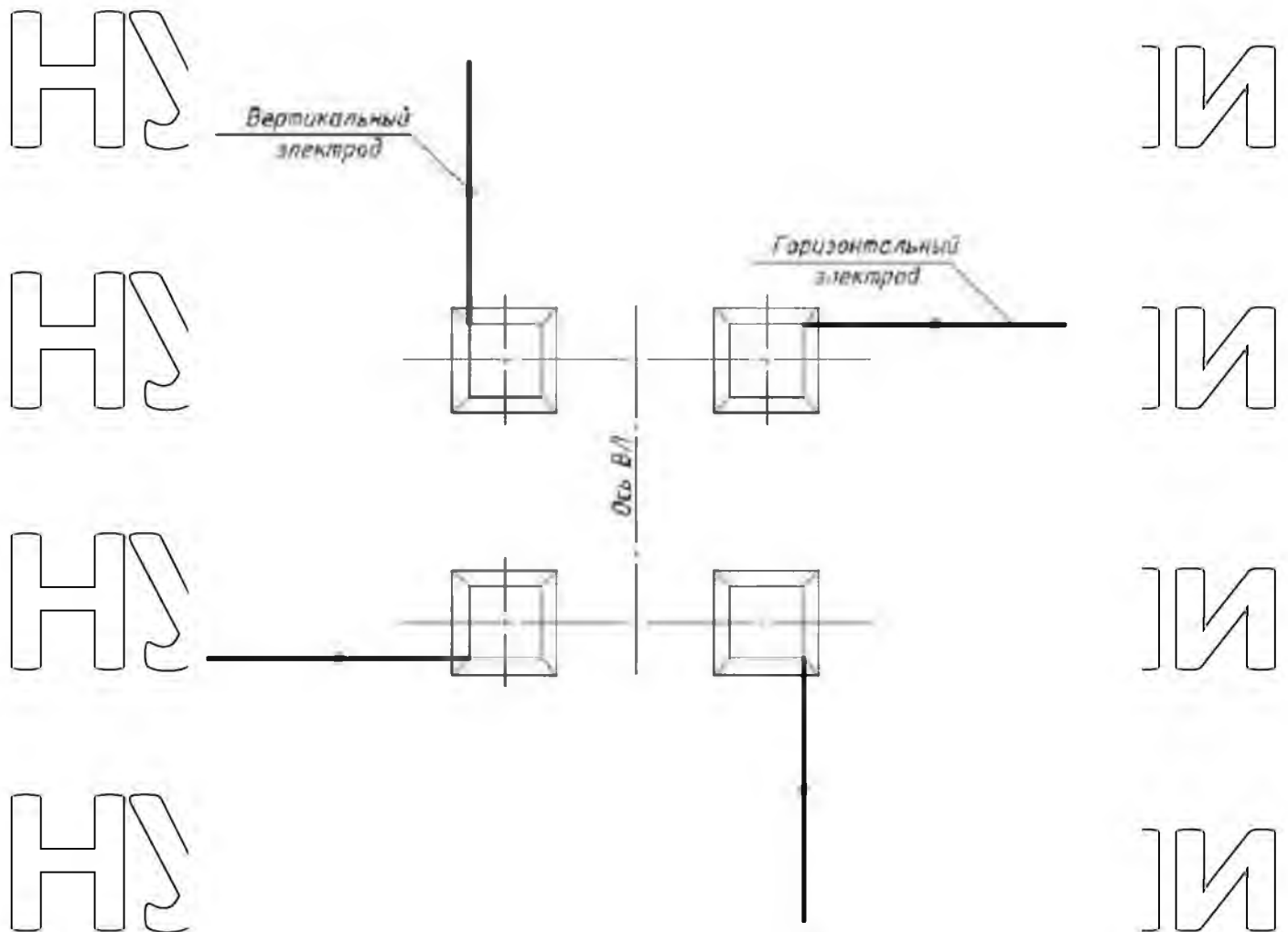
НУБІЛ ПІДКРАЇНИ

НУБІЛ ПІДКРАЇНИ

НУБІЛ ПІДКРАЇНИ

НУБІЛ ПІДКРАЇНИ





в)Рис. 2.10 Різні конфігурації заземлювального пристрою

В залежності від характеристик ґрунту та типу фундаменту, необхідно вибирати відповідні заземлюючі пристрої. У разі, якщо провідність нижніх шарів ґрунту набагато менша, ніж верхніх, або ж використовуються пал'ові фундаменти, рекомендується встановлювати вертикальні електроди. Вони добре відводять імпульсні струми грозових розрядів. Глибинні заземлювачі займають невелику площу та, завдяки великій глибині, забезпечують малу величину опору розікання струму. У процесі проектування глибинних заземлювачів важливо правильно визначити розрахункове значення питомого опору ґрунту, з урахуванням його неоднорідності, а також вибрати оптимальну довжину одиничного електроду

Важливо пам'ятати, що правильно обрані заземлюючі пристрої гарантують безпеку електричних мереж та пристроїв.

У ділянок з високим питомим опором ґрунту, де провідність нижніх шарів незначна, доцільно встановлювати вертикальні електроди. Вони забезпечують хороше відведення струму під час грозових розрядів і не займають багато місця.

В кам'янистих і скельних ґрунтах, де заглибити вертикальний електрод може бути неможливо, застосовують горизонтальні протяжні заземлювачі. Ці заземлювачі можуть бути розташовані на різних глибинах, залежно від провідності ґрунту на кожній з рівнів.

У разі, коли питомий опір ґрунту на ділянці є дуже високим, може бути доцільним використання безперервних горизонтальних електродів, що з'єднують кілька опор, які називаються противагами. Такі заземлювачі забезпечують ефективне розведення струму і підвищують ефективність заземлення.

Згідно Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), на опорах повітряних ліній електропередач повинні бути встановлені заземлювальні пристрої, які призначені для захисту від грозових перенапруг, заземлення електрообладнання, що встановлене на опорах, а також для повторного заземлення. Опір заземлювального пристрою не повинен перевищувати 30 Ом. Металеві опори, металеві конструкції та арматура залізобетонних елементів опор повинні бути приєднані до захисного заземлювального провідника PEN. На залізобетонних опорах захисний заземлювальний провідник PEN слід приєднувати до арматури залізобетонних стійок та підкосів опор. Гаки та штирі на дерев'яних опорах повітряних ліній електропередач, а також на металевих та залізобетонних опорах, на яких підвищені ізольовані несучі провідники, не підлягають заземленню, за винятком гаків та штирів на опорах, де виконуються повторні заземлення та заземлення для захисту від атмосферних перенапруг.

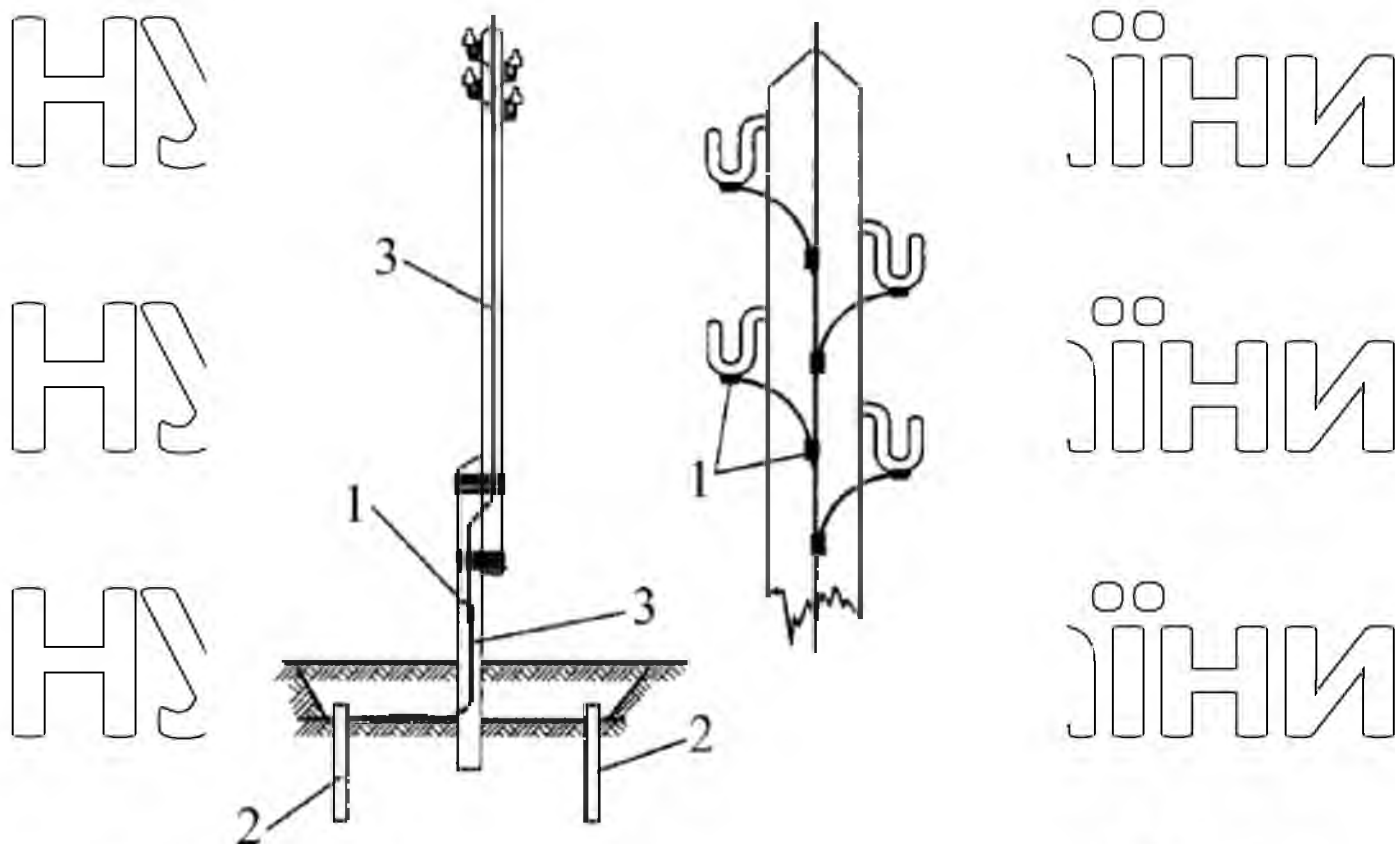


Рис. 2.11 Зміщене заземлення: 1 - місця зварювання, 2 - заземлювач, 3 - заземлювальний провідник

Для забезпечення ефективного заземлення кріюків, штирів і ізоляторів на опорі вздовж лінії електропередачі, зазвичай використовують сталевий дріт, який має діаметр не менше 6 мм та антикорозійне покриття. Після того, як дріт прокладений вздовж опори, його спускають вниз і з'єднують з заземлюючим пристроєм. У випадку залізобетонних опор, зазвичай використовують металеву арматуру для заземлення. З'єднання заземлюючих провідників між собою та приєднання їх до верхніх заземлюючих випусків стійок залізобетонних опор, до гаків і кронштейнів, а також до заземлюючих металоконструкцій і до заземлюючих електрообладнання, встановленого на опорах ПЛ, повинні виконуватися зварюванням або болтовими з'єднаннями.

НУБІП України

У випадку залізобетонних стовпів, заземлення повинно залежати від матеріалу опор. Всі виступаючі зверху і знизу елементи арматури повинні бути приєднані до PEN-провідника (нульова шина), який згодом відіграє роль заземлення. До нього ж слід приєднати гаки, кронштейни та інші металоконструкції, що знаходяться на опорі. Все це в рівній мірі відноситься і до металевих щогл ВЛ.

Якщо маємо справу з дерев'яними опорами, заземлення вимагає трохи іншого підходу. З огляду на діелектричні властивості деревини, кожна з щогл не потребує окремого пристрою заземлення, якщо на ній встановлений громовідвод або повторне заземлення.

В будівництві, особливо в технічних аспектах, завжди важливо дотримуватися норм і правил безпеки. Коли мова йде про населені пункти з малоповерховою забудовою (1 або 2 поверху), всі види опор повинні бути обладнані пристроями заземлення. Це необхідно для захисту від можливих нещасних випадків під час грозових бурь.

Щоб забезпечити ефективне заземлення, відстань між опорами з громовідводами повинна відповідати середньорічному значенню годин, в які трапляється гроза. Якщо ця величина не перевищує 40, то проміжки між опорами з громовідводами повинні бути менше 200 м. У випадку, якщо середньорічне значення годин перевищує 40, відстань між опорами скорочується до 100 м.

Обов'язковому заземленню підлягають опори, що представляють розгалуження від ПЛ до об'єктів з потенційно масовим скупченням людей, таких як клуби або будинки культури. Установка заземлювачів здійснюється за допомогою сталевих щтирів або смуг металу, розташованих паралельно землі під її поверхнею. В залежності від типу і розміру заземлювача, а також кліматичної зони, проводяться вимірювання опору у заземлення опор ПЛ.

Властивості підстанції

Хоча підстанції знаходяться під дахом але всеодео важливо дотримуватись високих стандартів заземлення із-за того, що там часто заходяться люди.

Заземлення підстанцій включає:

- зовнішній контур
- внутрішній контур
- захист від ураження блискавки приміщення.

Підстанція - це комплексне спорудження, яке має забезпечити надійне та безпечне електропостачання. Внутрішній контур заземлення відіграє ключову роль у забезпеченні безпеки та зниженні ризику виникнення аварійних ситуацій.

Цей контур дозволяє спрямовувати струм до землі в разі виникнення несприятливих умов.

Заземлення здійснюється за допомогою сталевих смуг, які закріплюються дюбелями по периметру всіх приміщень підстанції. Вони з'єднуються зварюванням або різьбовими з'єднаннями, що дозволяє створити надійне з'єднання з землею всіх пристроїв та обладнання, що знаходяться всередині підстанції.

Окрім того, всі металеві частини, які не призначені для проходження струму, з'єднуються з цією шиною, що забезпечує їх безпечне заземлення. Для цього використовуються нарізні сполучення з шайбами збільшеної ширини та гайками типу «баранчик», що забезпечує надійне переносне заземлення.

При використанні силового трансформатора з глухозаземленою нейтраллю, нульова шина з'єднується з отриманим контуром заземлення, що забезпечує додатковий захист та зменшує ризик виникнення аварії.

Один з найважливіших елементів заземлення є зовнішній контур, який є замкнутим і складається з горизонтального заземлювача та вертикальних штирів. Для забезпечення ефективності заземлення, необхідно правильно визначити глибину залягання конструкції, яка повинна бути не менше 70 см від поверхні землі.

При розташуванні заземлювального пристрою по периметру будівлі, необхідно дотримуватися відстані не більше 1 м від стін або фундаментної плити. Також потрібно враховувати загальний опір контуру, який не повинен перевищувати 40 Ом, якщо питомий опір ґрунту менше $1 \text{ кОм} \cdot \text{м}$.

У разі, якщо підстанція має металевий дах, необхідно заземлити його, з'єднавши з зовнішнім контуром за допомогою сталевого дроту діаметром 8 мм. Це з'єднання необхідно виконувати з двох сторін об'єкта, діаметрально протилежних між собою, з метою захисту від корозії та механічних пошкоджень.

Розрахунок заземлюючого пристрою залежить від багатьох факторів, включаючи характеристики ґрунту, габарити та конструкцію заземлювача. Типові конструкції заземлювачів серії розроблені з урахуванням Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) шостого видання, які включають вимоги до конструктивного виконання та нормованих опорів розтікання заземлювачів для ґрунтів з еквівалентним питомим опором. У серію входять конструкції заземлювачів для опор та обладнання, яке встановлюється на ПЛ різних кВ, відповідно до вимог ПУЕ.

У серії передбачені такі конструкції заземлювачів: вертикальні, горизонтальні (променеві), вертикальні в поєднанні з горизонтальними, замкнуті горизонтальні (контурні), контурні в поєднанні з вертикальними та горизонтальними (променевими). Конструктивне виконання заземлюючих та нульових захисних провідників, які прокладаються на опорах ПЛ, відповідає чинним типовим проектам та проектам повторного застосування опор ВЛ. Конструкції даної серії повинні застосовуватися при спорудженні та реконструкції ПЛ різних кВ.

Серія не розглядає заземлювачі в районах північної будівельно-кліматичної зони (підрайони ІА, ІБ, ІГ і ІД по СНІП 2.01.01-82) та в районах поширення скельних ґрунтів.

Для отримання питомого опору ґрунту та товщини його шарів існують два можливі шляхи – прямі виміри на майданчиках підстанцій та по трасі ПЛ, або отримання даних від дослідників геологічних розрізів ґрунту вздовж траси.

Якщо немає можливості провести прямі виміри, проектувальники можуть скористатися узагальненими значеннями питомих опорів різних ґрунтів, які наведені в спеціальних таблицях. Проте, в сучасний час існують досить надійні інженерні методи, які дозволяють визначити електричну структуру землі та розрахувати опори заземлювачів в однорідних та двошарових ґрунтах. Крім того, зроблені способи приведення реальних багатошарових електричних структур

землі до розрахункових двошарових еквівалентних моделей, що дозволяють визначити оптимальну конструкцію штучних заземлювачів для даної електричної структури ґрунту і забезпечити нормовану величину опору заземлення.

Таким чином, при проектуванні заземлюючих пристроїв для повітряних ліній електропередач необхідно враховувати ряд важливих параметрів ґрунту, включаючи його електронну структуру та товщину шарів. Сучасні інженерні методи дозволяють точно визначити оптимальну конструкцію штучних заземлювачів для даної електричної структури ґрунту.

На основі проведених досліджень було встановлено, що опір розтіканню не залежить від розміру та форми заземлювача. Однак, елементи з круглим перетином довговічніші, оскільки при однаковій швидкості корозії перетин плоских провідників знижується швидше. Тому, для заземлювачів ВЛ рекомендується використовувати тільки круглу сталь.

Щодо конструктивного виконання заземлювачів, горизонтальні елементи мають діаметр 10 мм, а вертикальні - 12 мм. Це досить для розрахункового терміну служби в умовах слабкої та середньої корозії. Якщо виникає посилене кородування, необхідно вживати заходи, щоб підвищити довговічність заземлювачів.

НУБІП України

Для вертикальних заземлювачів можуть бути використані кутова сталь та сталеві труби, розміри яких повинні відповідати вимогам ПСУБ. У ґрунтах з малими питомими опорами (до 10 Ом/м) використовують тільки нижній заземлюючий випуск - стрижневий електрод довжиною близько 2 м, що поставляється комплексно із залізобетонною стійкою. У цій серії вертикальні заземлювачі передбачені довжиною 3, 5, 10, 15 та 20 м, оскільки гранична глибина занурення в даний час в м'яких ґрунтах становить 20 м.

Для розробки траншей при прокладці горизонтальних заземлювачів можна використовувати екскаватори типу ЕТЦ-161 на базі трактора Беларусь МТЗ-50 або монтажний плуг. При цьому необхідно розкопати котловани розміром 80x80x60 см в місцях занурення вертикальних заземлювачів та приєднати їх до горизонтального заземлювача за допомогою зварювання.

Занурення вертикальних електродів можна проводити різними методами, такими як вібрація, засвердлювання, забивання або закладання в готові свердловини. При цьому верхній кінець заземлювача повинен знаходитися на відстані 20 см вище дна траншей.

Після цього прокладаються горизонтальні заземлювачі. Для з'єднання заземлювачів між собою необхідно виконати зварювання в нахлест. Довжина нахлесту повинна дорівнювати шести діаметрам заземлювача, а зварювання слід виконати по всьому периметру нахлесту. Вузли з'єднання заземлювачів наведені в розділах ЕС37 і ЕС38. Для захисту від корозії збірні стики слід покривати бітумним лаком.

Загалом, дотримання правильної технології монтажу заземлювачів дуже важливе для забезпечення безпеки та ефективності їх роботи.

Один з ключових аспектів, що необхідно враховувати при проектуванні ПЛ, - це захист від корозії збірних стиків. Для цього слід покривати стики бітумним лаком, що дозволить зберегти їх від руйнування та підвищить тривалість їх експлуатації.

Щодо засипки траншей, то це процес, який виконують бульдозером на базі трактора Білорусь МТЗ-50. Це дозволяє ефективно підготувати місце для проведення лінії електропередачі та забезпечити безперебійне електропостачання.

При будівництві повітряних ліній електропередачі необхідно враховувати можливість мехколонни, яка буде будувати цю лінію з точки зору оснащення її механізмами. Це дозволить забезпечити ефективне та якісне будівництво.

Після влаштування заземлювачів важливо виробити контрольні заміри їх опору. У разі, якщо опір перевищує нормоване значення, можуть додаватися вертикальні заземлювачі для отримання необхідної величини опору. Це забезпечить надійне заземлення лінії та захист від можливих аварій.

Приєднання заземлювачів до опори - це важливий етап будівництва ПЛ. Його можна виконувати за допомогою кок зварювання або болтового з'єднання.

Контактні з'єднання повинні відповідати класу 2, що забезпечить надійність та тривалість експлуатації лінії.

При побудові ліній електропередач, заземлювачі грають важливу роль у захисті від ураження електричним струмом. Для забезпечення ефективної роботи заземлювачів необхідно виконати кілька технічних вимог. Зокрема, у місцях приєднання заземлювачів до заземлювальних спусків на дерев'яних опорах лінії 0,38 кВ необхідно встановити додаткові відрізки з круглої сталі діаметром 10 мм. Для ліній 6, 10 і 20 кВ заземлювальні спуски виготовляються з круглої сталі діаметром не менше 10 мм і приєднуються безпосередньо до заземлювача.

З'єднання заземлюючого спуску з заземлювачем може бути здійснене болтовим або кок зварюванням. Болтове з'єднання забезпечує можливість контролю заземлювачів без підйому на опору і відключення лінії. Якщо є прилади для контролю заземлювачів, з'єднання заземлюючого спуску з заземлювачем може бути виконане нероз'ємним.

З'єднання заземлюючого спуску з заземлювачем може бути здійснене болтовим або кок зварюванням. Болтове з'єднання забезпечує можливість контролю заземлювачів без підйому на опору і відключення лінії. Якщо є прилади для контролю заземлювачів, з'єднання заземлюючого спуску з заземлювачем може бути виконане нероз'ємним.

Окрім того, контроль і вимірювання заземлювачів повинні проводитися відповідно до "Правил технічної експлуатації електричних станцій і мереж". Це допомагає забезпечити безпечну експлуатацію електричної мережі та уникнути можливих аварій. Виконання всіх технічних вимог заземлювачів є необхідною умовою для ефективного та безпечного функціонування електромережі.

Рекомендації щодо проектування

У процесі проектування заземлювачів необхідно враховувати електричні характеристики ґрунту та глибину закладення заземлювача. Інженерні методи розрахунку заземлювачів, розроблені для двошарової структури ґрунту, використовуються для приведення багатошарової електричної структури ґрунту до еквівалентної двошарової структури.

В однорідному ґрунті або ґрунті з убутним по глибині питомим опором найбільш доцільними є вертикальні заземлювачі. Однак, якщо нижні шари ґрунту мають значно більш високі значення питомих опорів, ніж верхні, або коли зауривняння вертикальних заземлювачів ускладнене або неможливе через щільність ґрунтів, рекомендується застосовувати горизонтальні (променеві) заземлювачі.

Якщо вертикальні заземлювачі не забезпечують нормованих значень опору, то можна застосувати комбіновані заземлювачі, що складаються з вертикальної та горизонтальної частини.

Для вибору оптимального типу заземлювача необхідно визначити еквівалентної двошарової структури і попередньо обраної конструкції заземлювача.

Після цього відповідно до Правил технічної експлуатації електричних станцій і мереж підбирається відповідний тип заземлювача даної серії. У процесі роботи з заземлювачами необхідно регулярно проводити контроль та вимірювання опору, відповідно до Правил технічної експлуатації електричних станцій.

НУБІП України

Як відомо, заземлення є важливою складовою електричної мережі, яка забезпечує безпеку під час роботи з електричним обладнанням. Для забезпечення якісного заземлення можуть використовуватися як природні матеріали, так і штучні заземлювачі. При цьому, якщо залізобетонні фундаменти забезпечують достатній опір заземлення, то можуть використовуватися додаткові штучні заземлювачі.

Штучні заземлювачі можуть бути виготовлені з круглої сталі діаметром від 10 до 16 мм, а також з труб або кутового заліза. Для забезпечення максимальної ефективності, поглиблені заземлювачі у вигляді кілець або прямокутників краще укладати на дно котлованів під фундаменти. У цьому випадку, один контур на весь котлован буде найбільш оптимальним рішенням.

Глибинні заземлювачі зазвичай використовуються там, де вони можуть досягти добре провідних шарів ґрунту. На сталевих та залізобетонних опорах з'єднання грозозахисних тросів з заземлюючими пристроями опор завжди здійснюється з використанням металу опор. Заземлення необхідне на підстанціях електропередачі, опорах, що мають грозозахисний трос або інші пристрої грозозахисту, а також на залізобетонних та сталевих опорах ПЛІ напругою від 0,4 до 35 кВ. Крім того, заземлення необхідне на опорах, на яких встановлені силові або вимірювальні трансформатори, роз'єднувачі і інші апарати.

Для забезпечення електробезпеки під час роботи з ПЛІ необхідно застосовувати блискавкозахисні засоби. Природна електрична провідність окоренкових частин залізобетонних опор або фундаментів може бути використана для заземлення, проте для цього необхідно використовувати високоякісний ґрунт з трамбуванням. Якщо ПЛІ має ізольовану нейтраль, то необхідно застосовувати заземлюючі пристрої (ЗУ) для опор, що забезпечують електричну безпеку. Це особливо важливо, оскільки при тривалій роботі з заземленою фазою може виникнути небезпека для життя. ЗУ повинні мати характер заземлення, що дозволяє захистити людей від можливих небезпек. Крім того, опір заземлюючих пристроїв повинен бути визначений з урахуванням

вимог до опору заземлення. Для забезпечення електробезпеки необхідно використовувати заземлюючі пристрої (ЗУ) для опор, що забезпечують електричну безпеку. Це особливо важливо, оскільки при тривалій роботі з заземленою фазою може виникнути небезпека для життя. ЗУ повинні мати характер заземлення, що дозволяє захистити людей від можливих небезпек. Крім того, опір заземлюючих пристроїв повинен бути визначений з урахуванням

вимог до опору заземлення. Для забезпечення електробезпеки необхідно використовувати заземлюючі пристрої (ЗУ) для опор, що забезпечують електричну безпеку. Це особливо важливо, оскільки при тривалій роботі з заземленою фазою може виникнути небезпека для життя. ЗУ повинні мати характер заземлення, що дозволяє захистити людей від можливих небезпек. Крім того, опір заземлюючих пристроїв повинен бути визначений з урахуванням

вимог до опору заземлення. Для забезпечення електробезпеки необхідно використовувати заземлюючі пристрої (ЗУ) для опор, що забезпечують електричну безпеку. Це особливо важливо, оскільки при тривалій роботі з заземленою фазою може виникнути небезпека для життя. ЗУ повинні мати характер заземлення, що дозволяє захистити людей від можливих небезпек. Крім того, опір заземлюючих пристроїв повинен бути визначений з урахуванням

ванням всіх факторів, за винятком природних заземлювачів, таких як залізобетонні опори і фундаменти. Штучні заземлювачі можуть бути виконані за допомогою протяжних променевих, вертикальних, або комбінованих елементів, що містять сталеве кільце діаметром від 12 до 16 мм, а в сильно агресивних ґрунтах - діаметром від 18 до 20 мм. Протяжні променеві заземлювачі прокладаються паралельно до поверхні землі на глибині від 0,5 до 1 м. У разі, якщо ґрунт є скельним, допускається прокладання заземлювачів в розробленому шарі або по поверхні з набетонуванням. У многолітньому мерзлому ґрунті заземлювачі просто прокладають по поверхні. Число, довжина та напрям променів визначаються розрахунками.

Для вертикальних заземлювачів в залежності від електричних характеристик ґрунту вибираються електроди довжиною від 5 до 20 м. Вертикальне заземлення можна виконати методом вдавлення або вгвинчування. Якщо питомий опір ґрунту з глибиною зменшується, застосовуються довші електроди.

Елементи заземлювачів з'єднуються зварюванням внахлест по всьому периметру. При цьому довжина нахлеста повинна бути не менше шести діаметрів дроту. Щоб захистити заземлювачі від ґрунтової корозії та подовжити термін їх служби, рекомендується виконувати гідроізоляцію спусків до заземлювача на довжині по 10 см в обидві сторони від кордону розділу шарів з різною повітропроникністю (зокрема, і на кордоні повітря - земля). Гідроізоляція виконується шляхом обмотки бавовняною стрічкою.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

2.3.2 Моделювання роботи багатоелектродного заземлювача

На практиці заземлювачі часто складаються з декількох електродів. Наприклад, заземлення опори лінії електропередачі забезпечується чотирма кілками, що утворюють фундамент опори (рис. 2.12). Оскільки відстань між кілками становить 4 метри, а площа розтікання знаходиться в межах 40-50 метрів, поля розтікання окремих електродів перекриваються. Це призводить до ефекту екранування, коли взаємовплив електродів призводить до зменшення струму розтікання, що, в свою чергу, збільшує загальний опір розтікання.

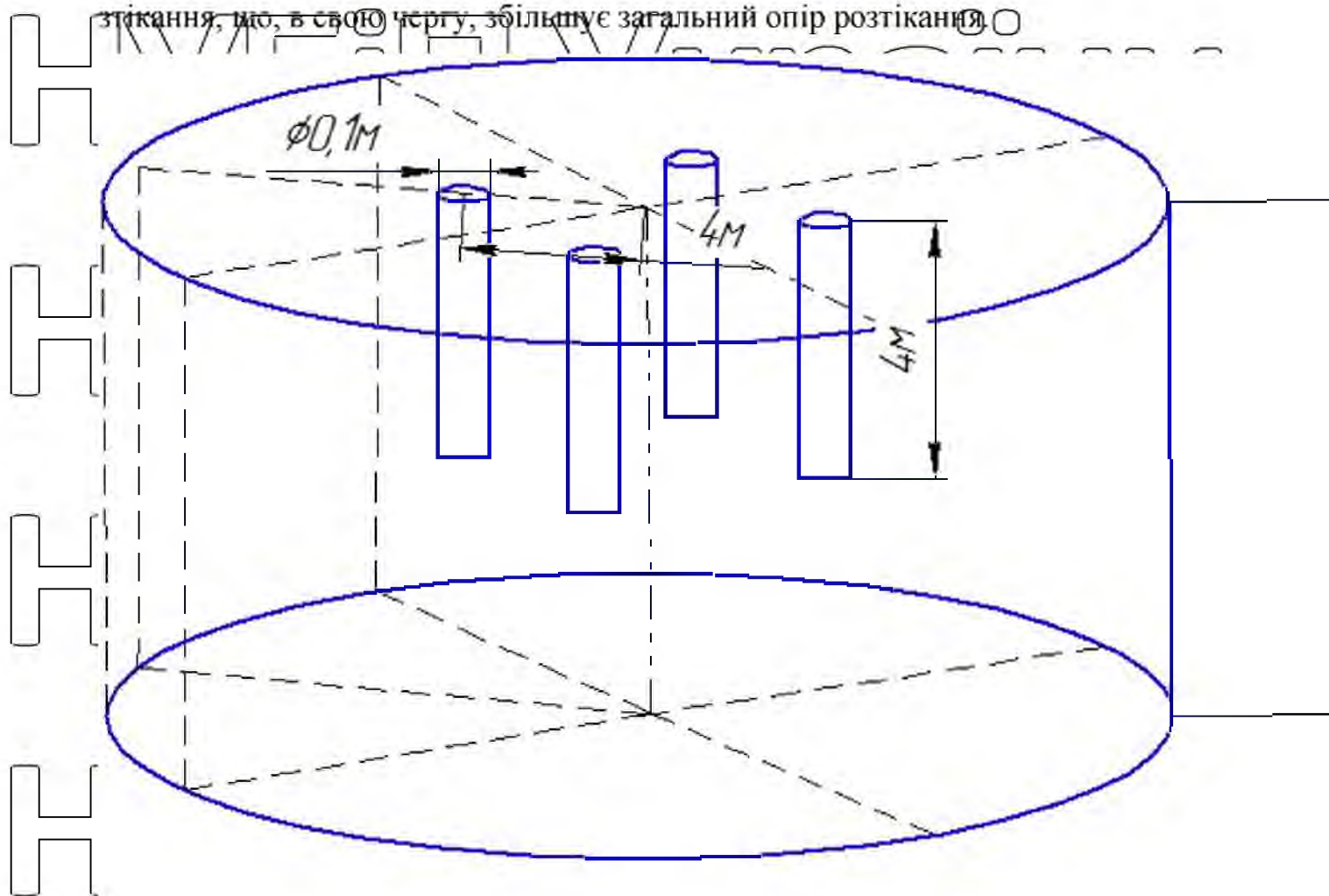


Рис. 2.12 Загальний вигляд

Для оцінки опору системи заземлення опори лінії електропередачі необхідно виконати тривимірний розрахунок, що враховує наявність кількох електродів заземлення. Оскільки осьова симетрія відсутня через наявність чотирьох електродів, можна спростити розрахункову модель шляхом припущення наявності кількох площин симетрії. Ці площини є вертикальними і проходять між електродами перпендикулярно одна до одної, а також є вертикальна площина, яка розділяє електрод на дві рівні частини.

На площинах симетрії нормальна компонента густини струму відсутня, що можна використовувати як граничну умову. З такою передумовою розрахункова область матиме вигляд, як показано на Рисунку 2.13.

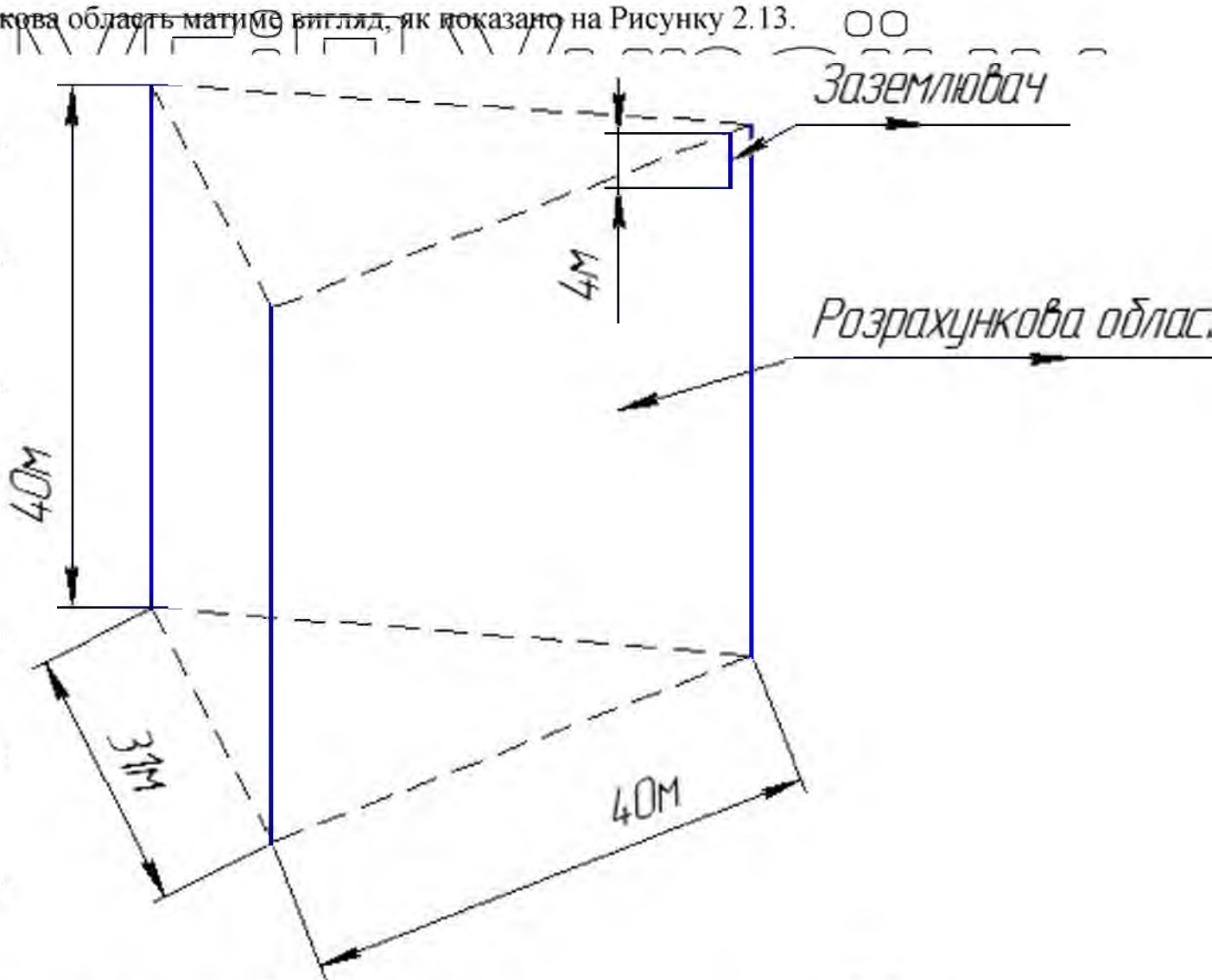


Рис. 2.13 Розрахункова область

Після створення допоміжної площини x-y за допомогою команди "Draw-> Work Plane Settings" і активації відповідної радіокнопки, на цій площині можна нанести три точки з координатами x, y: (0,0), (-40,0) і $(-40\sin 45^\circ, 40\sin 45^\circ)$ за допомогою команди "Draw-> Specify objects-> Point".

Потім ці точки можна з'єднати відрізками прямої лінії, використовуючи команду "Draw-> Draw objects-> Line". В результаті отримується трикутник, який представляє розрахункову область на площині x-y.

У результаті з'єднання точок відрізками прямої лінії за допомогою команди "Draw-> Draw objects-> Line" утворюється суцільний (забарвлений) трикутник. Розміри цієї розрахункової області були обрані з урахуванням довжини заземлюючих електродів, яка дорівнює 4 метрам. Очікувана помилка розрахункової величини опору складатиме 10%. Якщо потрібно зменшити похибку, можна розглянути збільшення розмірів розрахункової області. Для створення об'ємної розрахункової області після побудови трикутника, який є проекцією розрахункової області на площину x-y, можна використати наступні кроки:

У головному меню виберіть "Draw -> Extrude". В полі "Distance" встановіть висоту розрахункової області, наприклад, 40. Натисніть "OK". В результаті буде побудована об'ємна розрахункова область. Далі, для виключення частини електрода в обсягу розрахункової області, виконайте наступні кроки: Знову зверніться до допоміжної площини, яку ви створили раніше, активуючи закладку "Geom2" в полі для креслення. Використовуючи оператори плоского креслення, виберіть "Draw -> Specify objects -> Circle" і намалуйте коло з центром в точці з координатами (-2, 0) і радіусом 0.1 м (радіус електрода). Перетворимо отриману окружність в півколо, застосувавши команду "Draw -> Convert to Curve". Розібемо лінійну фігуру, отриману з півкола, на окремі елементи. Для цього використовуйте команду "Draw -> Split object". Видалимо дві з чотирьох дуг півкола, натиснувши на них правою кнопкою миші та вибравши опцію "Delete". З'єднаймо за-

дишившіся елементи півкола відрізком прямої лінії. Виберемо всі елементи фігури і застосуємо команду "Draw -> Coerce to Curve", щоб перетворити їх на суцільну лінійну фігуру

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

Застосуємо команду "Draw -> Coerce to Solid", щоб перетворити лінійну фігуру на суцільне півколо. Знову використаємо команду "Draw -> Extrude" для

створення об'ємного об'єкта. Під час цього важливо вказати відстані перемі-

щення об'єкта (displacement) по осі z, рівне 36 м. Для виключення обсягу елект-

НУБІП УКРАЇНИ

рода з обсягу розрахункової області та налаштування фізичних властивостей середовища (електропровідності) виконайте наступні кроки: У головному меню виберіть "Draw -> Create composite object".

Виберіть обсяг розрахункової області, який ви побудували раніше, а потім вибе-

НУБІП УКРАЇНИ

рвіть електрод, який ви бажаєте виключити з обсягу. Натисніть "OK" для відняття обсягу електрода з обсягу розрахункової області.

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

Для налаштування фізичних властивостей середовища (електропровідності) виконайте наступні кроки:

У головному меню виберіть "Physics -> Subdomain settings".

У вікні "Subdomain settings" знайдіть налаштування "Electrical Conductivity" (електропровідність).

Введіть необхідне значення електропровідності для середовища, яке ви досліджуєте.

Натисніть "OK" для застосування налаштувань фізичних властивостей.

Після цих кроків ви отримаєте сформовану розрахункову область з виключеним електродом і налаштованими фізичними властивостями середовища.

Для встановлення граничних умов у розрахунковій області за допомогою команд меню "Physics -> Boundary settings" виконайте наступні кроки:

У головному меню виберіть "Physics -> Boundary settings".

У спливаючому вікні з'явиться список елементів кордону розрахункової області. Послідовно виділіть елементи кордону в списку, спостерігаючи їх виділення на кресленні.

Виберіть тип граничної умови зі списку "Boundary condition" залежно від потреб вашої задачі.

На поверхні електрода і віддаленому кордоні, виберіть "Electrical potential" для встановлення потенціалу.

На поверхні ґрунту і площинах симетрії, виберіть "Electric insulation" для встановлення ізоляції від електричного струму.

Щоб задати потенціал на поверхні заземлювача, введіть значення потенціалу в полі "Electric Potential". Ви можете вибрати будь-яке постійне значення, наприклад, 1.

Після встановлення всіх необхідних граничних умов на поверхнях електрода, ґрунту і площинах симетрії, ви можете продовжити розрахунок для знаходження опору розтікання струму з урахуванням симетрії за допомогою відповідного виразу.

$$R_g = \frac{1}{8I}$$

де I струм, який стікає з однієї другої частини поверхні заземлювача. Для створення інтегральної змінної, яка буде обчислюватися при кожному запуску моделі, та автоматичного обчислення опору заземлювача, виконайте наступні

кроки: головному меню виберіть "Options -> Integration Coupling Variables ->

Boundary Variables". спливаючому вікні виділіть тільки ті елементи кордону розрахункової області, які є кордоном електрода. стовпці "Name" введіть ім'я змінної, наприклад "I". В "Expression" введіть ім'я інтегрованої величини, наприклад

"nI_emdc" (щільність стікання струму з поверхні). У меню "Options -> Expression -> Global expression" введіть відповідний вираз для обчислення опору заземлювача. В стовпці "Name" введіть ім'я, наприклад "Rg". розділ "Expression" введіть вираз, наприклад " $I / (8 * 1)$ ". Для побудови оптимізованої кінцевоелементної

сітки виконайте наступні кроки: В головному меню виберіть "Mesh -> Free mesh parameters". У спливаючому вікні активуйте закладку "Boundary" списку елементів кордону розрахункової області виділіть тільки кордони, які є межами електрода. полі "Maximum element size" введіть значення максимального розміру елемента, наприклад, "0.02". Натисніть кнопку "Remesh" у тому ж вікні, щоб побудувати кінцевоелементну сітку. Після виконання цих кроків ваша задача буде

готова до вирішення. Після виконання розрахунку за допомогою команди "Solve -> Solve problem" програма проведе розрахунок прикладу. Щоб перевірити правильність постановки граничних умов, ви можете скористатися елементом меню

постпроцесора "Stream line", який дозволяє побудувати лінії струму в розрахунковій області (рис. 2.14).

Після виконання цих кроків ваша задача буде готова до вирішення. Після виконання розрахунку за допомогою команди "Solve -> Solve problem" програма проведе розрахунок прикладу. Щоб перевірити правильність постановки граничних умов, ви можете скористатися елементом меню

постпроцесора "Stream line", який дозволяє побудувати лінії струму в розрахунковій області (рис. 2.14).

Перш ніж продовжити, важливо зазначити, що як модель та розрахункові параметри в даному прикладі є вказівки, які ви подали (напруга на заземлювачі 220 В, однорідний піщаний ґрунт з провідністю 0,0026 См). Однак, без доступу до конкретної програми для розрахунку, я не можу провести розрахунки або згенерувати відповідні результати.

Для перевірки граничних умов та побудови ліній струму в розрахунковій області, слід виконати наступні кроки:

Після завершення розрахунку виберіть елемент меню постпроцесора "Stream

У вікні програми виберіть потрібні налаштування для побудови ліній струму, які відповідають вашим вимогам.

Запустіть процес побудови ліній струму. Нагадую, що як модель та розрахункові параметри ви зазначили напругу на заземлювачі 220 В та провідність однорідного чистого ґрунту 0,0026 См. Однак, без доступу до конкретної програми, я не можу точно показати, як використовувати елемент меню постпроцесора "Stream line" або надати результати вашого конкретного прикладу.

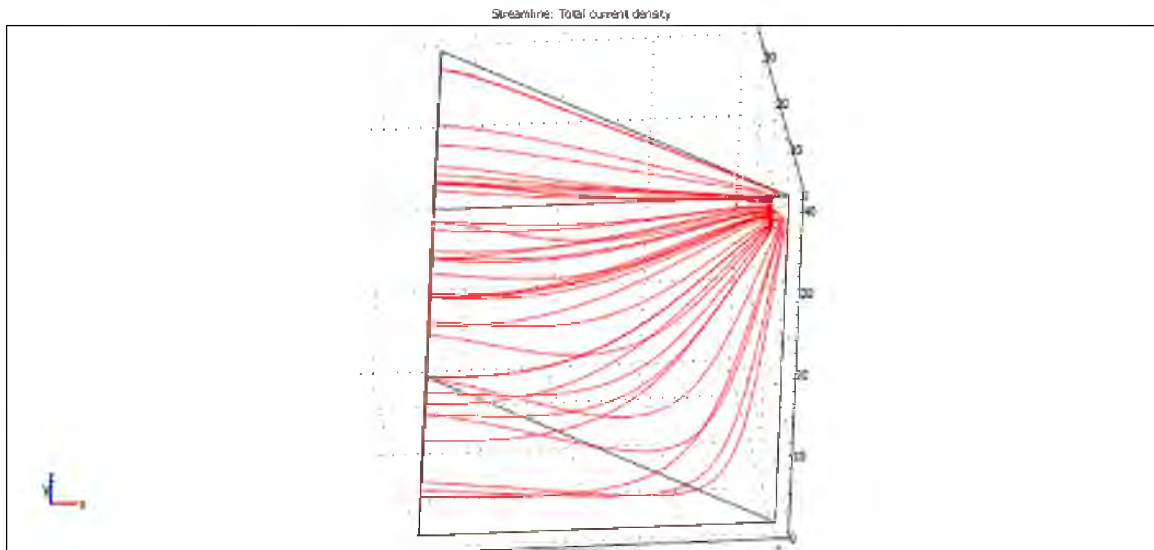


Рис. 2.14 Лінії струму в розрахунковій області

Струм, який в такому випадку стікає з заземлювача дорівнює:

$$I = 4 \int j_n 2\pi r dS$$

j_n – густина струму на заземлювачі, r – радіальна координата точки на поверхні заземлювача, де S – контур границі перерізу заземлювача;

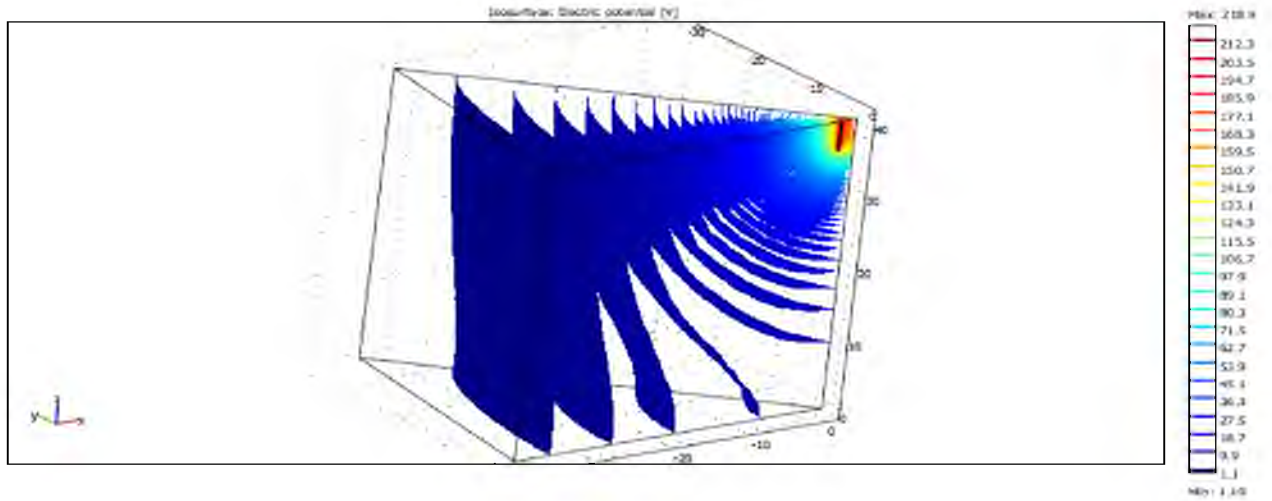
Струм, який стікає з кожного заземлювача дорівнює

НУБІП України

Сумарний опір заземлення в такому разі становить

$$I = 41.3 \text{ А}$$
$$R = 1.33 \text{ Ом}$$

Н
Н



Н

Рис. 2.15 Розподіл потенціалу електричного поля при напрузі 220 В

При підключенні напруги 10 кВ до заземлювача матимемо наступні ре-

зультати.

НУБІП України

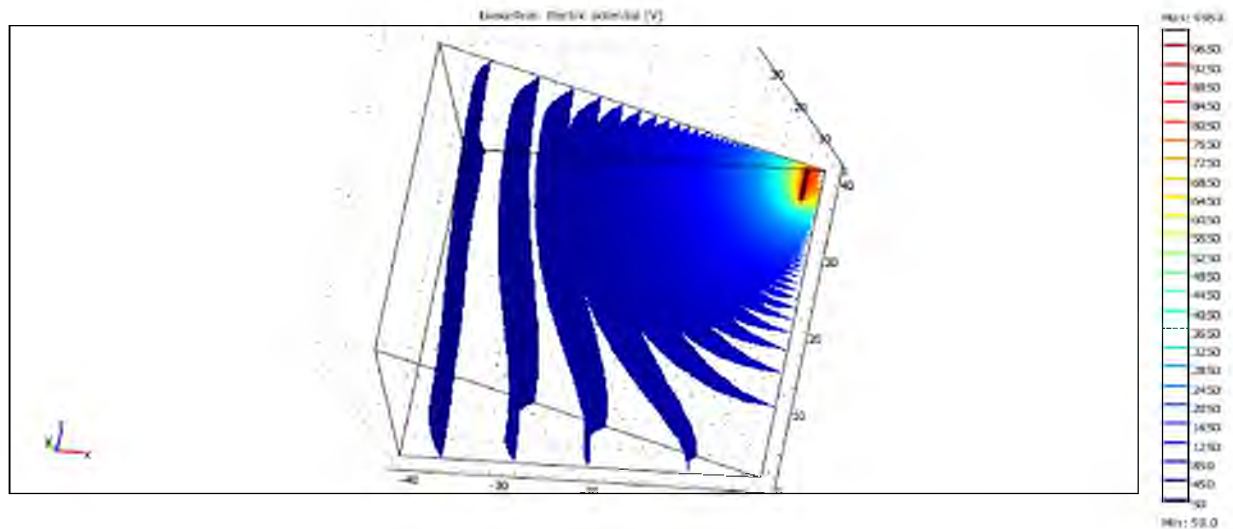
НУБІП України

НУБІП України

НУ

НУ

НУ



НУБІП України

Рис. 2.16 Розподіл потенціалу електричного поля при нарузі 40000 В. Не несе загрози для людини відстань від заземлювача при аварійній ситуації становить понад 30 м.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

2.3.3 Вплив багат шарового ґрунту на опір заземлювальної сітки

У цьому розділі наведено результати розрахунків для системи заземлення в 3-шаровому ґрунті та досліджено вплив опору верхнього шару ґрунту, товщини верхнього шару ґрунту, опору середнього шару ґрунту, товщини середнього шару ґрунту та опору нижнього шару ґрунту на розрахований опір заземлювальної сітки.

Результати розрахунків були отримані за допомогою програмного забезпечення SafeGrid Earthing та порівняні з результатами дослідження, проведеного з використанням програмного забезпечення CDEGS.

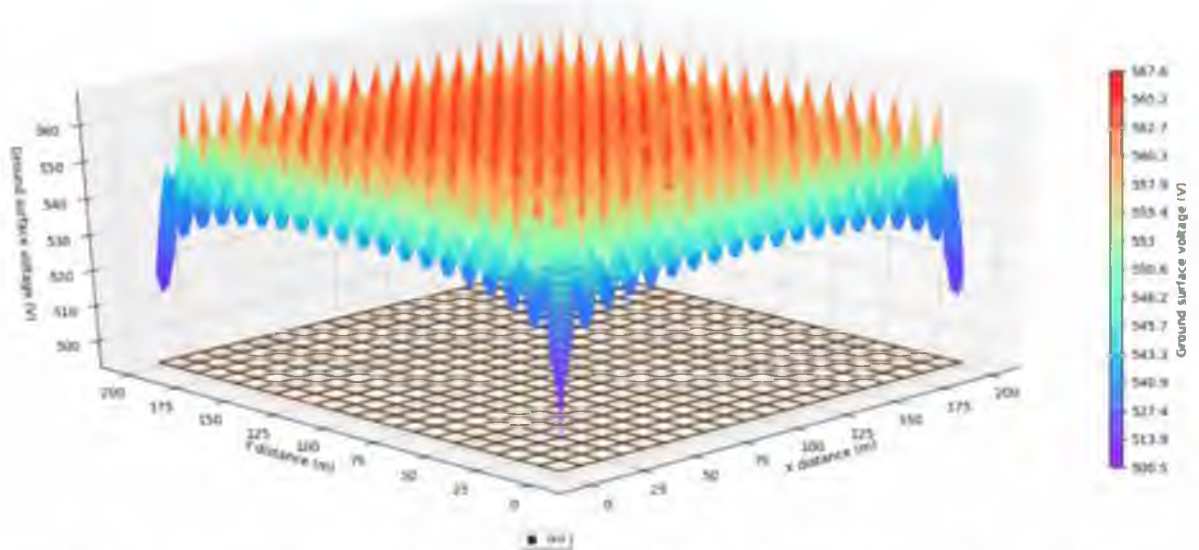


Рисунок 7. Графік напруги на поверхні для першого тесту з опором верхнього шару ґрунту $10 \Omega \cdot \text{м}$.

НУБІП України

Модель сітки. Була побудована проста модель сітки з такими властивостями.

Параметр	Специфікація
Площа заземлювальної сітки	200x200 м ²
Розмір сітки	10 x 10 м ²
Глибина заковування	0,8 м
Матеріал провідника та його розміри	Плоска сталь Розміри: 80 мм x 6 мм

НУБІП України

Програмне забезпечення SafeGrid Earthing не передбачає рівні потенціалів на сітці, тому було також враховано комплексні послідовні імпеданси провідників сітки (з урахуванням провідності сталі). Частота збурюючого (відмовного)

струму становила 50 Гц.

НУБІП України

Вплив верхнього шару на опір заземлення був досліджений шляхом зміни:

- Опору верхнього шару в діапазоні від 10 до 70 $\Omega \cdot \text{м}$.
- Товщини верхнього шару в діапазоні від 10 до 70 м.

НУБІП України

Модель ґрунту для першого тесту наведена на рисунку 2, а модель ґрунту для другого тесту наведена на рисунку 3.

НУБІП України

НУБІП України

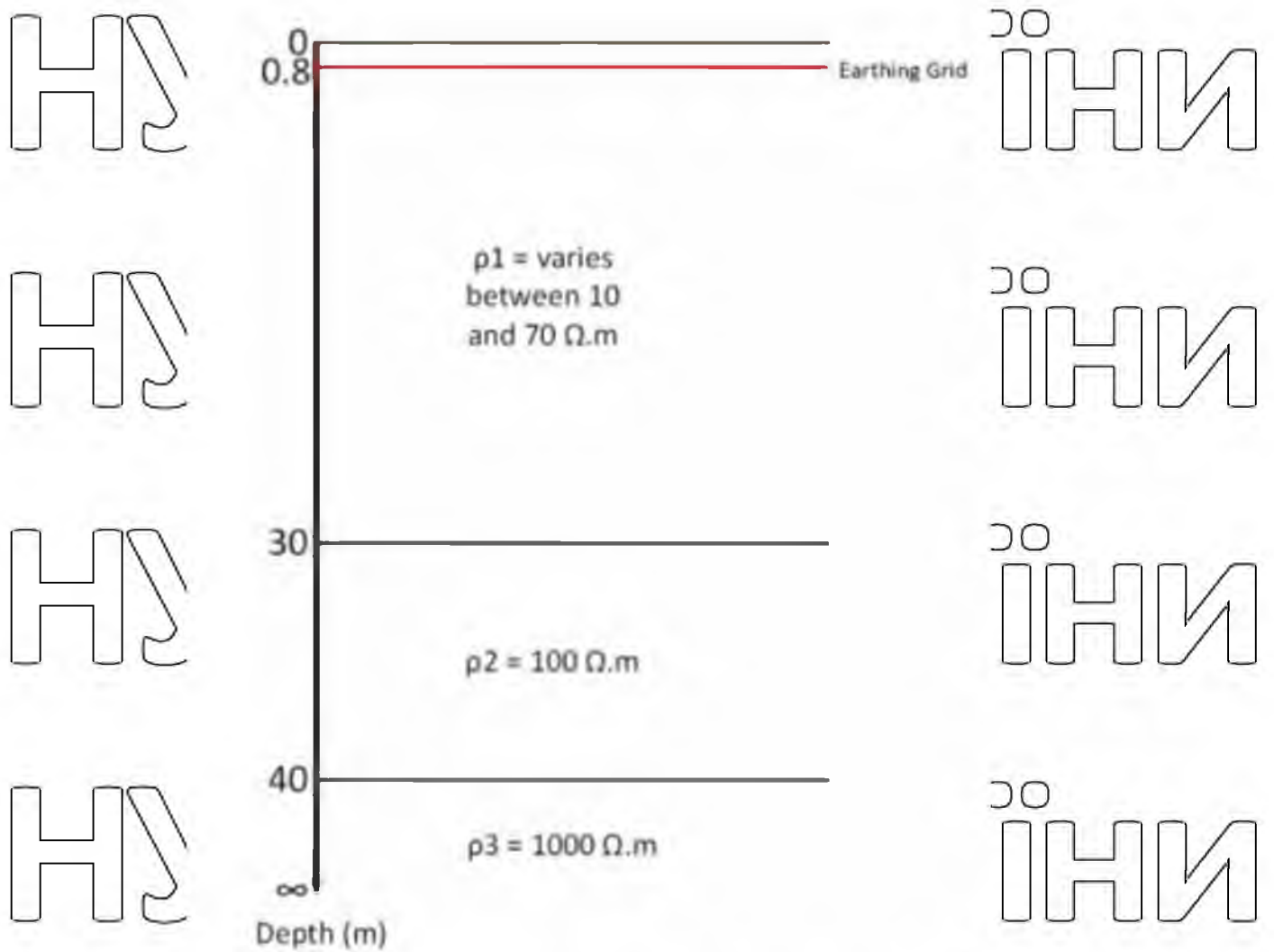


Рисунок - Модель ґрунту - зміна опору верхнього шару

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

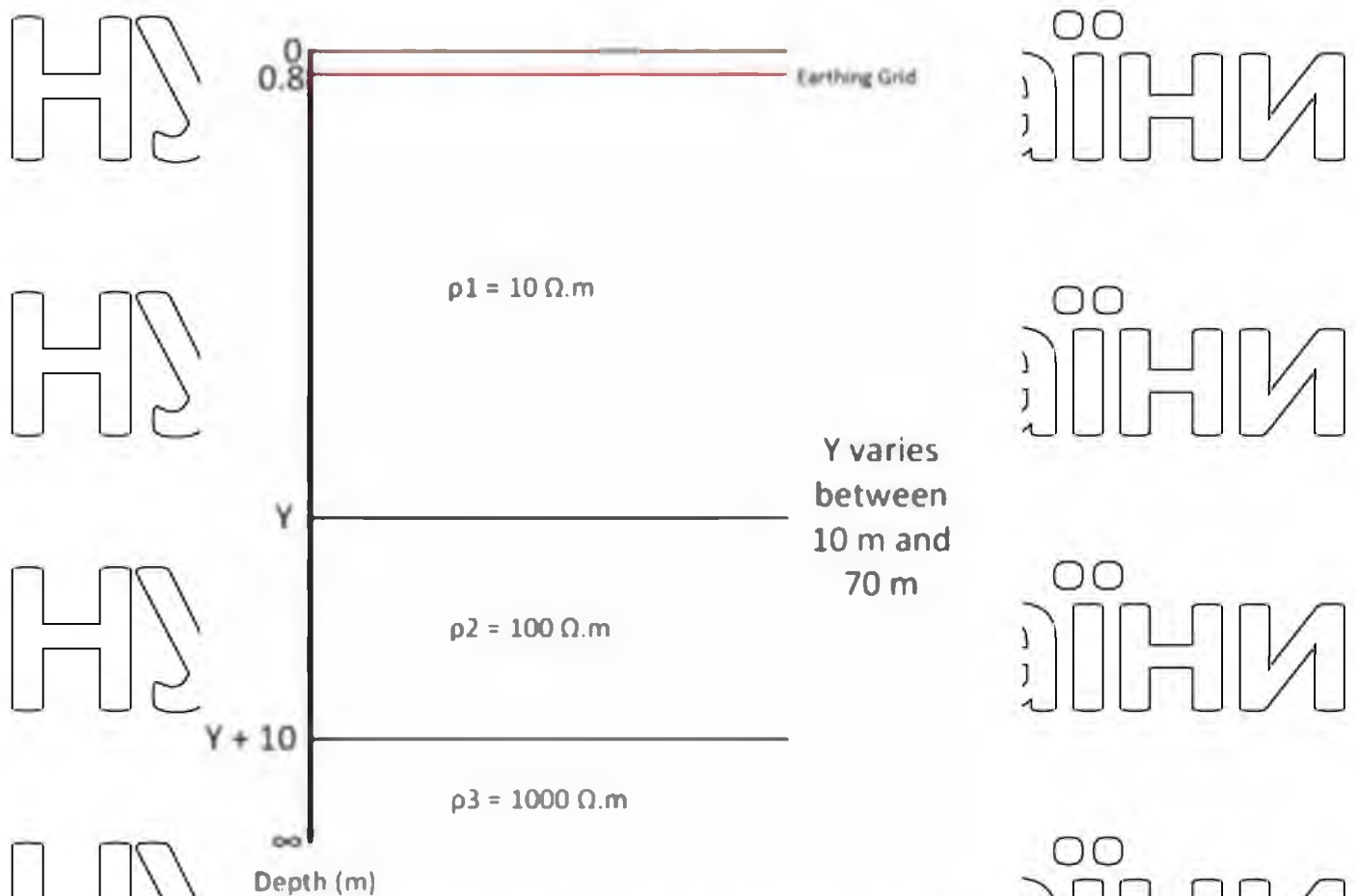


Рисунок 4. Модель ґрунту - зміна товщини верхнього шару ґрунту.

На рисунку 4 показано, що при збільшенні опору верхнього шару зростає також опір заземлювальної сітки. Результати, отримані за допомогою програмного забезпечення SafeGrid, досить близькі до посилання на дослідження [1], яке використовувало програмне забезпечення CDEGS, з максимальною відмінністю в 3,28%.

На рисунку 5 показано, що при збільшенні товщини верхнього шару заземлювальної сітки зменшується опір. Це пояснюється тим, що опір верхнього шару ґрунту нижчий, ніж у середньому шарі. Результати, отримані за допомогою програмного забезпечення SafeGrid, досить близькі до посилання на дослідження [1], яке використовувало програмне забезпечення CDEGS, з максимальною відмінністю в 2,14%.

НУБІП

НУБІП

НУБІП

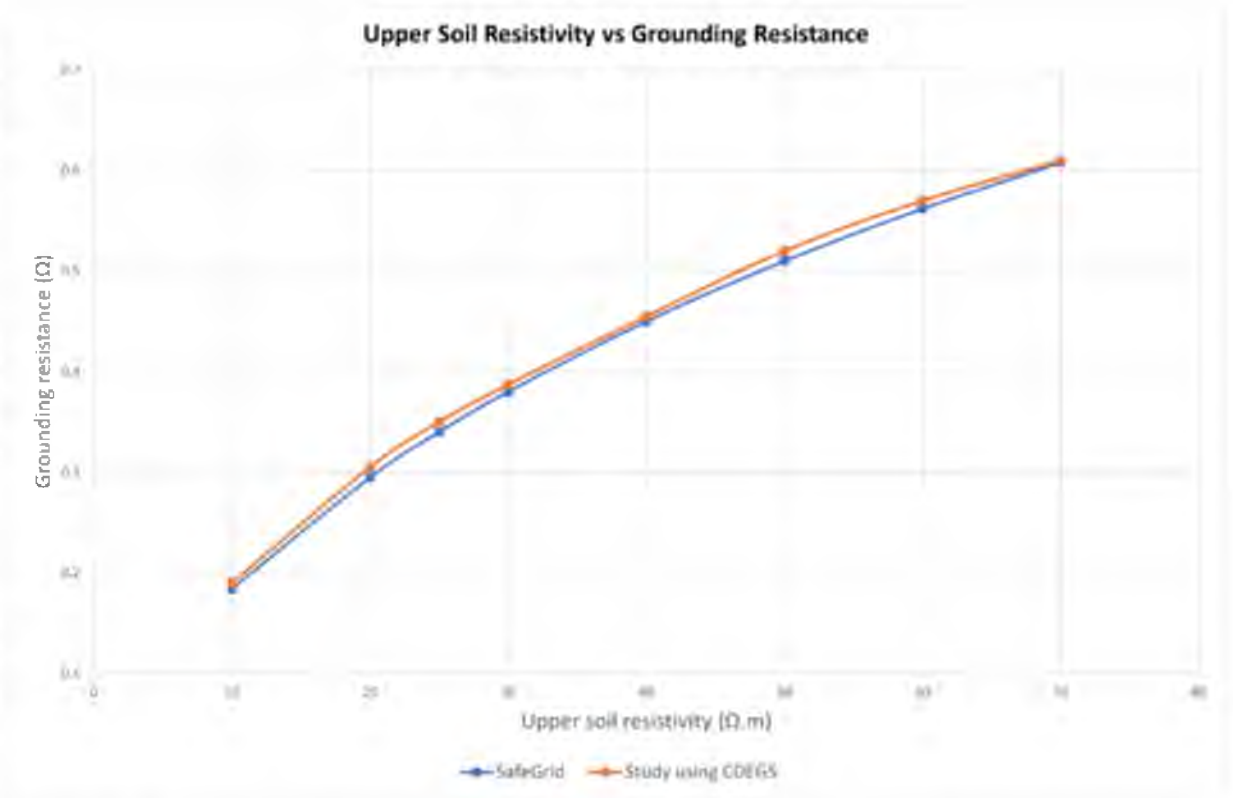


Рисунок 4. Графік, що показує вплив опору верхнього шару ґрунту на опір заземлення.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП

НУБІП

НУБІП

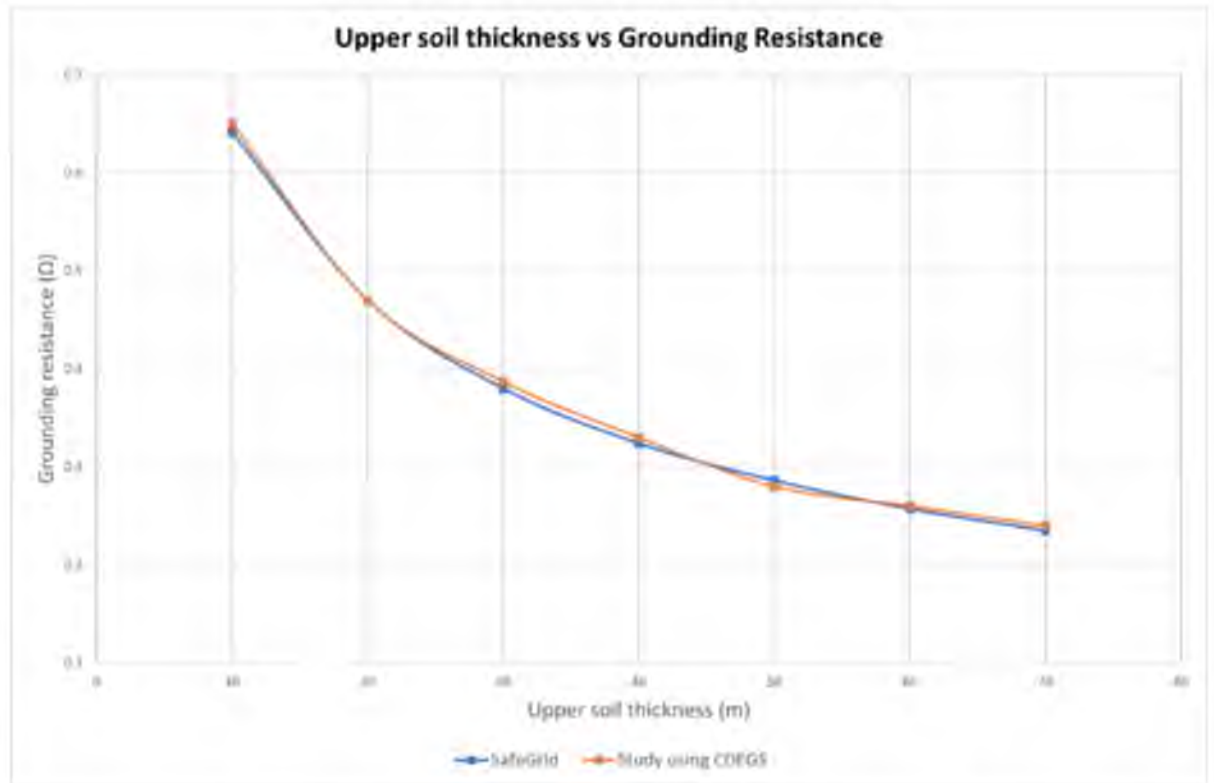


Рисунок 5. Графік, що показує вплив товщини верхнього шару ґрунту на опір заземлення.

Вплив середнього шару на опір заземлення був перевірений шляхом вимірювання таких параметрів:

- Опір середнього шару, в діапазоні від 50 до 700 $\Omega \cdot \text{м}$.
- Товщина середнього шару в діапазоні від 10 до 80 м.

Модель ґрунту для першого тесту середнього шару можна побачити на рисунку 6, а модель ґрунту для другого тесту - на рисунку 7.

НУБІП України

НУБІП України

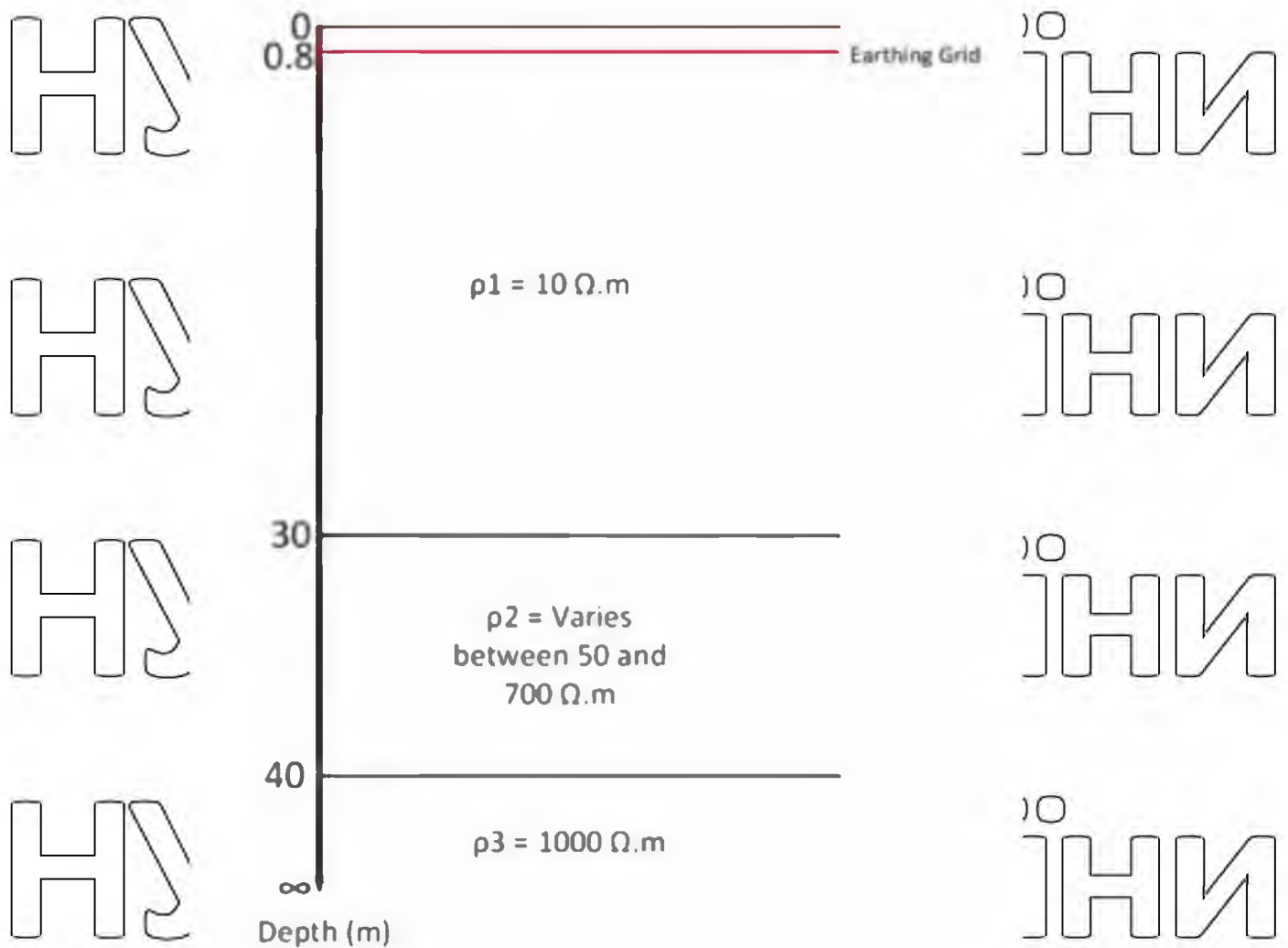


Рисунок 6. Модель ґрунту - зміна опору середнього шару

Рисунок 8 показує, що при збільшенні опору середнього шару ґрунту зростає також опір заземлення. Однак, крива також починає плоскіти приблизно при значенні $300 \Omega \cdot m$. Це пояснюється зменшенням впливу змін у опорі середнього шару ґрунту. Крім того, на рисунку 8 показано, що результати, отримані за допомогою програмного забезпечення SafeGrid та результати з посилання на дослідження з використанням програмного забезпечення CDEGS [1], дуже близькі, де максимальна різниця між двома значеннями для цієї симуляції становить 1,81%.

НУБІП України

Рисунок 9 показує, що при збільшенні товщини середнього шару ґрунту зменшується опір заземлення. Хоча це подібно до тенденції збільшення товщини верхнього шару ґрунту, варто відзначити, що зменшення спору заземлення в середньому шарі ґрунту фактично набагато менше, через менш виражений дифузний ефект, який має середній шар ґрунту на сітку. Крім того, на рисунку 9 показано, що результати між симуляцією в SafeGrid та симуляцією в посиланні на дослідження [1] з використанням програмного забезпечення CDEGS схожі. Максимальна різниця між значеннями для цієї симуляції становить

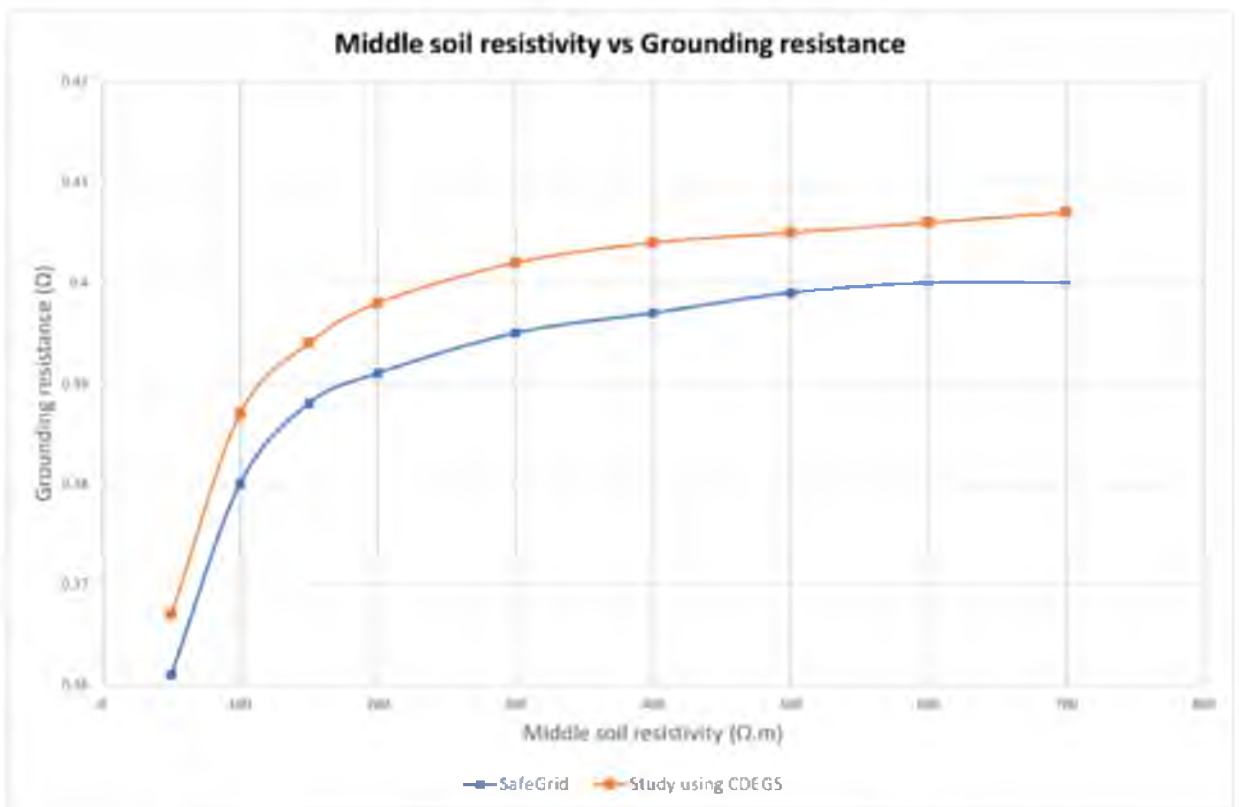


Рисунок 8. Графік, що показує вплив опору середнього шару на опір заземлення.

У цьому розділі було розглянуто ефекти змінної опору і товщини шарів ґрунту на опір заземлення для систем заземлення, встановлених в багатошаровому ґрунті.

Зрозуміло, що збільшення опору шарів ґрунту, незалежно від того, який саме шар ґрунту, зазвичай призводить до збільшення опору системи заземлення. Це пов'язано зі зменшеною ефективністю системи заземлення у відведенні неполадкового струму в ґрунт.

З іншого боку, збільшення товщини шарів ґрунту збільшує їхній відносний вплив на опір системи заземлення. Наприклад, коли товщина шару з відносно високим опором збільшується, опір системи заземлення також збільшується.

Слід зауважити, що поведінка систем заземлення в багатошаровому ґрунті є дуже відмінною від однорідного або двошарового ґрунту.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 3. БЕЗПЕКА ПРАЦІ

НУБІП України

Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих чинників при роботі за

Комп'ютером виконання дипломної роботи з розрахунку втрат в елементах кабелю в мережі 10 кВ (діелектричні втрати, в провіднику, оболонках), необхідно використовувати ряд обчислювальних програм на комп'ютері, таких як Excel та Mathcad. Однак, тривала робота за комп'ютером може призводити до виникнення небезпечних та шкідливих факторів. Для зменшення впливу цих факторів, слід проаналізувати негативний вплив комп'ютера на організм людини.

Деякі з небезпечних та шкідливих факторів, які можуть виникати, включають:
Підвищена температура поверхонь ПК.

Зміна температури повітря в робочій зоні (підвищена або знижена).

Зміна вологості повітря (підвищена або знижена).

Випромінювання електромагнітних полів.

Відсутність або недостатня природна освітленість.

Недостатня штучна освітленість робочої зони.

Підвищена яскравість світла.

Вібрації та шум при роботі комп'ютера та принтера.

Психофізіологічні шкідливі чинники також можуть впливати на організм людини:

Великий обсяг інформації, що обробляється в одиницю часу.

Нераціональна організація робочого місця.

Зорове напруження.

Монотонність трудового процесу.

Нервово-емоційні перевантаження.

Поширеними симптомами, які виникають під час тривалої роботи за комп'ютером, можуть бути головний біль, відчуття розбитості в очах, біль у м'язах шиї.

НУБІП України

3.3 Інженерно-технічні заходи з охорони праці

Для забезпечення безпеки під час роботи з комп'ютером рекомендується вживати наступні заходи:

Забезпечити оптимальні мікрокліматичні умови в комп'ютерному приміщенні.

Це включає системи опалення, кондиціонування повітря або припливно-втяжну вентиляцію. Важливо дотримуватися нормативних значень параметрів мікроклімату, таких як температура, відносна вологість та рух повітря, згідно з відповідними стандартами (наприклад, ГОСТ 12.1.005-88, СН 4088-86).

Забезпечити комфортну робочу зону. Розмістіть робоче місце з урахуванням ергономічних принципів. Налаштуйте стіл і стільницю таким чином, щоб було зручно працювати з клавіатурою, мишею та монітором. Регулюйте висоту стільця, щоб забезпечити правильну позицію тіла під час роботи.

Застосовуйте заходи для запобігання зоровому напруженню. Регулярно робіть перерви під час тривалої роботи перед екраном. Виконуйте вправи для очей, фокусування погляду на далекі та близькі об'єкти. При потребі використовуйте спеціальні антиблікові екрани або окуляри з фільтрами.

Забезпечте належний освітлення робочої зони. Використовуйте природне світло, якщо це можливо. При штучному освітленні вибирайте лампи з належною яскравістю та розмістіть їх таким чином, щоб уникнути блисків на екрані.

Таблиця 3.1

Оптимальні значення параметрів мікроклімату

Пора року	Температура повітря , град. С	Відносна вологість, %
Холодна		

НУБІП України

Тепла

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Для усунення психофізіологічних шкідливих і небезпечних чинників під час роботи з комп'ютером, слід враховувати наступні організаційні та обладнання робочого місця:

Дотримуйте відстань між бічними поверхнями персональних комп'ютерів не менше 1,2 метра.

Встановіть відстань від тильної поверхні одного персонального комп'ютера до екрана іншого не менше 2,5 метра.

При потребі в особливій концентрації уваги між операторами рекомендується використовувати перегородки висотою 1,5-2 метри.

Розташуйте робоче місце таким чином, щоб природне світло падало зліва від користувача.

Монітор повинен бути розташований на оптимальній відстані від очей, яка зазвичай становить 600-700 мм. При цьому розмір літер і символів на екрані також потрібно враховувати. Кут нахилу екрана монітора має бути +30 градусів від нормальної лінії погляду. Клавіатура повинна бути розташована на поверхні столу на відстані 100-300 мм від краю, звернутого до користувача. Забезпечте опорний пристрій, що дозволяє змінювати кут нахилу поверхні клавіатури в межах 5-15 градусів. Висота середнього рядка клавіш повинна бути не більше 30

мм. Поверхня клавіатури має мати матове покриття з коефіцієнтом відбиття 0,4. Розташування пристроїв введення-виведення інформації (наприклад, миші) має бути у зоні досяжності моторного поля руки за висотою 900-1300 мм. Для

комп'ютерної аудиторії, в якій встановлені персональні комп'ютери, необхідно забезпечити як природне, так і штучне освітлення. Штучне освітлення повинно бути системою загального рівномірного освітлення. У випадку, коли робота в основному виконується з документами, може застосовуватись комбінована система освітлення, яка включає світильники місцевого освітлення, додатково до загального освітлення. При цьому необхідно уникати відблисків на поверхні екрана від світильників місцевого освітлення.

Як джерела світла в штучному освітленні рекомендується використовувати переважно люмінесцентні лампи. Допускається також використання ламп розжарювання у світильниках місцевого освітлення. Система загального освітлення має бути розташована у вигляді суцільних або переривчастих ліній світильників, розташованих збоку від робочих місць (переважно ліворуч) паралельно лінії зору працюючих. Заборонено використання світильників без розсіювачів та екрануючих ґрат.

Дотримання цих вимог щодо освітлення допоможе забезпечити належні умови для роботи з комп'ютерами та запобігти відблискам, які можуть заважати користувачам.

Для забезпечення електробезпеки в приміщеннях, де працюють персональні комп'ютери, периферійні пристрої та інше устаткування, необхідно дотримуватися наступних вимог:

Все устаткування, включаючи комп'ютери, периферійні пристрої, апарати управління, контрольно-вимірювальні прилади, світильники, електропроводи та кабелі, повинні відповідати вимогам класу зони та мати апаратуру захисту від струму короткого замикання та інших аварійних режимів.

Застосування проводів з легкозаймистою ізоляцією слід обмежувати, а за можливості застосовувати негорючу ізоляцію.

Нульовий захисний провідник використовується для заземлення (занулення) електроприймачів. Не допускається використовувати нульовий робочий провідник як нульовий захисний провідник.

Нульовий захисний провідник повинен бути прокладений від стійки групового розподільного щита, розподільного пункту до розеток електроживлення. Не допускається підключати нульовий робочий та нульовий захисний провідники до одного контактного затискача на щиті провідника в груповій трипровідній мережі має бути не менше площі перерізу фазового провідника.

Всі провідники повинні відповідати номінальним параметрам мережі та навантаження, умовам навколишнього середовища, умовам розподілу провідників, температурному режиму та типам апаратури захисту.

У приміщення, де одночасно експлуатуються понад п'ять персональних комп'ютерів і периферійних пристроїв, необхідно встановити аварійний резервний вимикач на помітному та доступному місці. Цей вимикач повинен мати здатність повністю вимкнути електричне живлення приміщення, залишаючи ввімкненим лише освітлення.

Ці заходи спрямовані на забезпечення безпеки під час використання електроустаткування в комп'ютерних аудиторіях та мають на меті запобігання електричним аваріям та забезпечення безпечних умов праці для користувачів.

Важливо враховувати, що тривалість періодів роботи без перерви залежить від індивідуальних особливостей та вміння людини утримувати концентрацію уваги. Зазвичай рекомендується робити перерви тривалістю 10-15 хвилин через кожні 1-1,5 години роботи за комп'ютером. Під час таких перерв рекомендується відволікатися від робочих завдань, виконувати фізичні вправи, проводити гімнастику для очей, розслаблювальні вправи для м'язів.

Такі перерви допомагають підтримувати високу працездатність, запобігають зайвому напруженню та втомі. Додатково, комплекс вправ може поліпшити фізичний стан та сприяти загальному самопочуттю.

Окрім перерв на відпочинок, також рекомендується забезпечити регулярні паузи для розтягування та руху. Під час таких пауз можна встати зі стільця, попрацювати над розтяжкою м'язів та зробити прості фізичні вправи.

Важливо враховувати особисті потреби та можливості кожної людини. Індивідуальні особливості, рівень концентрації та стомлення можуть варіюватися.

Тому розуміння власних меж і потреб у відпочинку є важливим для збереження здоров'я та продуктивної роботи з комп'ютером.

3.4 Пожежна профілактика

Пожежна профілактика на об'єктах енергетики є надзвичайно важливим аспектом для забезпечення безпеки працівників, захисту майна та надійності електропостачання. Об'єкти енергетики, такі як електростанції, підстанції та електричні мережі, можуть мати підвищений ризик пожежі через наявність електричного обладнання, високих напруг, значних електричних навантажень та потенційно небезпечних речовин.

Основні заходи пожежної профілактики на об'єктах енергетики включають:

Регулярну інспекцію та технічне обслуговування електричного обладнання: Редукція ризику пожежі починається з регулярного огляду, перевірки та обслуговування електричного обладнання. Всі електроустановки повинні періодично перевірятися, щоб виявити можливі несправності, пошкодження і перегрів.

Дотримання вимог електробезпеки: Правильне підключення, заземлення та ізоляція електрообладнання є важливими аспектами пожежної профілактики. Всі вимоги електробезпеки, включаючи використання захисних пристроїв, правильне розташування проводів і додержання меж напруги, повинні бути суворо виконані.

Пожежна сигналізація та пожежогасіння: Об'єкти енергетики повинні бути обладнані системами автоматичної пожежної сигналізації, які виявляють виникнення пожежі і сповіщають про неї персонал. Крім того, на об'єктах енергетики повинні бути встановлені ефективні системи пожежогасіння, такі як спринклерні системи, вуглекислотні вогнегасники, порошкові вогнегасники та інші засоби пожежогасіння. Вони повинні бути правильно розташовані і регулярно перевірятися, щоб забезпечити ефективну реакцію в разі виникнення пожежі.

Системи електропостачання з резервним живленням: На об'єктах енергетики, особливо на електростанціях та підстанціях, важливо мати системи резервного живлення, такі як дизельні генератори, що забезпечують електричну енергію навіть під час відключення основної мережі. Це допомагає забезпечити безперервну роботу систем пожежогасіння, пожежної сигналізації та іншого критичного обладнання навіть під час пожежі.

Навчання персоналу: Всі працівники, які працюють на об'єктах енергетики, повинні бути навчені пожежній безпеці. Це включає навчання з використання пожежних засобів, евакуації, процедур повідомлення про пожежу та інших аспектів безпеки.

План евакуації та надійні виходи: На об'єктах енергетики необхідно мати детальний план евакуації, який охоплює всі приміщення та зони. Виходи повинні бути чітко позначені, шляхи евакуації повинні бути відкритими та доступними, а персонал повинен бути навчений ефективно евакуюватися у разі пожежі.

Проведення пожежних навчань та пожежних вправ: Регулярні тренування та пожежні вправи допомагають перевірити готовність персоналу до реагування на пожежні ситуації. Це включає навчання з використання пожежних засобів, правильної евакуації, комунікації в разі пожежі та співпраці з пожежними службами.

Контроль за пожежною безпекою: На об'єктах енергетики слід регулярно проводити пожежні огляди, перевірки та аудити для перевірки дотримання пожежної безпеки. Це допомагає виявляти потенційні проблеми, ризики та недоліки, які можуть спричинити пожежу.

Впровадження систем виявлення пожежі: Сучасні системи виявлення пожежі, такі як детектори диму, тепла або вогню, є важливим елементом пожежної профілактики на об'єктах енергетики. Вони надійно виявляють ознаки пожежі і сповіщають про неї персонал, що дозволяє швидко реагувати на виникнення пожежі.

ВИСНОВКИ

Було проведено детальне дослідження питань моделювання роботи та розрахунку параметрів заземлюючих пристроїв на прикладі різних типів заземлювачів. В ході дослідження було охарактеризовано процеси розподілу електричного потенціалу, струму та опору заземлення в залежності від питомої провідності ґрунту та інших факторів.

Наприклад, у випадку одинарного заземлювача було проведено розрахунок опору заземлення в двошаровому ґрунті (чорнозем/суглинок), що дорівнює 14,23 Ом, що перевищує вимоги ПУЕ. Також було досліджено питання окислення штирьових оміднених заземлювачів та виявлено, що опір заземлення може перевищувати 100 Ом у випадку наявності оксидної плівки.

Крім того, було проведено дослідження багатоелектродних заземлюючих пристроїв на прикладі заземлювача електричної опори. У цьому випадку було враховано питому провідність ґрунту та наявність напруги, що прикладена до заземлювача. Розрахований опір заземлення в одношаровому ґрунті (піщани ґрунти) дорівнює 1,33 Ом.

Загалом, дослідження показали, що правильний розрахунок та моделювання заземлюючих пристроїв дуже важливий для забезпечення ефективної та безпечної роботи електроенергетичних об'єктів.