

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

І. В. РЕМЕШЕВСЬКА, О. Г. ГРУШИНА

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
з виконання розрахунку величини опору захисного
заземлення електротехнічної установки**

Рекомендовано Методичною радою НУК

Електронне видання
комбінованого використання на DVD-ROM



МИКОЛАЇВ ♦ НУК ♦ 2016

УДК 614.825(076)
ББК 31.29н я73
Р 37

Укладачі: І. В. Ремешевська, канд. техн. наук;
О. Г. Грушина, асистент

Рецензент С. М. Літвак, канд. техн. наук, доцент

Ремешевська І. В.

Р 37 Методичні вказівки з виконання розрахунку величини опору захисного заземлення електротехнічної установки / І. В. Ремешевська, О. Г. Грушина. – Миколаїв : НУК, 2016. – 43 с.

Уміщено необхідні теоретичні відомості щодо області застосування, характеристики та виконання заземлюючих пристроїв. Наведено методику і порядок виконання розрахунку величини опору штучного захисного заземлення електроустановки.

Призначені для студентів денної та заочної форм навчання усіх спеціальностей, які вивчають дисципліну "Охорона праці в галузі". Можуть використовуватися при виконанні розділу "Охорона праці" в дипломних проектах.

УДК 614.825(076)
ББК 31.29н я73

Навчальне видання

**РЕМЕШЕВСЬКА Ірина Володимирівна
ГРУШИНА Ольга Григорівна**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
з виконання розрахунку величини опору захисного
заземлення електротехнічної установки**

Комп'ютерне верстання *В. Г. Мазанко*
Коректор *М. О. Паненко*

© Ремешевська І. В., Грушина О. Г., 2016
© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2016

Формат 60×84/16. Ум друк. арк. 2,5. Обсяг даних 1830 кб.
Тираж 15 прим. Вид. № 7. Зам. № 79.

Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв Сталінграда, 9, м. Миколаїв, 54025
E-mail : publishing@nuos.edu.ua

Свідцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2506 від 25.05.2006 р.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ	6
1.1. Загальні визначення	6
1.2. Область застосування захисного заземлення	8
1.3. Характеристика заземлюючих пристроїв	9
1.4. Виконання заземлюючих пристроїв	11
1.5. Класифікація приміщень з точки зору електробезпеки	18
1.6. Електрозахисні засоби для електроустановок напругою до 1000 В	21
1.7. Випробування електрозахисних засобів	23
2. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ВЕЛИЧИНИ ОПОРУ ШТУЧНОГО ЗАХИСНОГО ЗАЗЕМЛЕННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОЇ УСТАНОВКИ	25
2.1. Основні етапи розрахунку величини опору штучного захисного заземлення	26
2.2. Приклад розрахунку величини опору штучного захисного заземлення	30
КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ	34
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	37
ДОДАТКИ	39

ВСТУП

Електробезпека – система організаційних та технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливої і небезпечної дії електричного струму, електричної дуги, електричного поля та статичної електрики.

Аналіз нещасних випадків у промисловості, які супроводжуються тимчасовою втратою працездатності потерпілих, показує, що кількість травм, викликаних електричним струмом, порівняно невелика і складає 0,5–1 % загального числа нещасних випадків на виробництві (в електроенергетиці 3–3,5 %).

Зовсім інша картина буде, якщо розглядати тільки смертельні нещасні випадки. При цьому виявляється, що із загального числа смертельних нещасних випадків на виробництві 20–40 % (в енергетиці – до 60 %) відбувається в результаті ураження електричним струмом, що, як правило, більше, ніж з інших причини. При напрузі до 1000 В відбувається 75–80 % смертельних уражень струмом.

Розвиток електротехніки супроводжується безперервним удосконаленням електроустаткування, пошуком нових технічних рішень при створенні електроустановок. Заземлюючий пристрій є невід'ємною частиною кожної електроустановки напругою до 1 кВ і вище.

Умови роботи заземлюючого пристрою визначаються, в першу чергу, питомим електричним опором землі та електричними параметрами заземлюючих і захисних провідників.

Однією з функцій заземлюючого пристрою є захист від ураження електричним струмом. Захисне заземлення – один з основних заходів захисту, що забезпечує безпеку електроустановки. Заземлення та заходи захисту регламентуються двома основоположними нормативними документами – правилами улаштування електроустановок (ПУЕ-6,7) і комплексом Стандартів ГОСТ Р50571 (МЭК-364).

Мета роботи – набуття практичних навичок у визначенні основних параметрів заземлення та самостійному вирішенні інженерної задачі – розрахунку захисного заземлення електроустановки.

1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1.1. Загальні визначення

Захисне заземлення – це навмисне електричне з'єднання з землею чи її еквівалентом металевих неструмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою. Захисне заземлення застосовується в електроустановках, що живляться від ізольованої від землі мережі напругою до 1000 В і в електроустановках напругою більше 1000 В незалежно від режиму нейтралі мережі живлення.

Робоче заземлення – навмисне електричне з'єднання з землею окремих точок електричного кола, наприклад, нейтральних точок обмоток генераторів, силових і вимірювальних трансформаторів і т. п. Робоче заземлення призначене для забезпечення належної роботи електроустановки в нормальних або аварійних умовах і здійснюється безпосередньо або через спеціальні пристрої – пробивні запобіжники, розрядники, резистори і т. п.

Заземлення блискавкозахисту – навмисне електричне з'єднання з землею блискавкоприймачів і розрядників з метою відводу від них струмів блискавки в землю.

Замикання на корпус (електричне замикання на корпус) – це випадкове електричне з'єднання струмоведучої частини з металевими неструмопровідними частинами електроустановки. Замикання на корпус може бути результатом, наприклад, випадкового торкання струмоведучої частини корпусу машини, пошкодження ізоляції, падіння проводу, що перебуває під напругою, на частини електроустановок і т. п.

Захисне відключення – це відключення електроустановки при пошкодженні ізоляції і переході напруги на неструмопровідні її елементи. Застосовується в доповнення до захисного заземлення (занулення) для забезпечення надійного захисту, перш за все в умовах особливої небезпеки електротравм.

Занулення – це навмисне електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металевих неструмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції.

Призначення захисного заземлення – усунення небезпеки ураження струмом у разі дотику до корпусу та інших неструмопровідних частин.

Принцип дії захисного заземлення – зниження до безпечних значень напруг дотику і кроку, обумовлених замиканням на корпус та іншими причинами. Це досягається

шляхом зменшення потенціалу заземленого обладнання (за рахунок зменшення опору заземлення, а також шляхом вирівнювання потенціалів поверхні та заземленого обладнання за рахунок підйому потенціалу поверхні, на якій стоїть людина, до значення, близького до значення потенціалу заземленого обладнання).

Опір заземлення – відношення напруги на заземлюючому пристрої до струму, що стікає із заземлювача на землю.

1.2. Область застосування захисного заземлення

1) електричні мережі напругою до 1000 В з ізольованою нейтраллю;

2) електричні мережі напругою понад 1000 В з будь-яким режимом нейтралі.

Захисне заземлення електроустановок слід виконувати при номінальній напрузі 380 В і вище змінного струму та 440 В і вище постійного струму в усіх випадках.

У приміщеннях категорій небезпеки ураження електричним струмом ПН (підвищена небезпека) та ОН (особлива небезпека) згідно з Правилами установки електрообладнання (ПУЕ) захисне заземлення повинне застосовуватися в електроустановках при номінальній напрузі від 42 В до 380 В змінного струму і від 110 В до 440 В постійного струму (ГОСТ 12.1.013-78).

У вибухонебезпечних приміщеннях категорій А і Б (НПБ 105-03) усі електроустановки незалежно від величини напруги повинні бути заземлені.

Заземленню підлягають:

- корпуси електричних машин, трансформаторів, апаратів, світильників і т. п.;
- вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів;
- каркаси розподільчих щитів, щитів управління, щитків та шаф, а також об'ємні частини або частини, що відкриваються, якщо на останніх встановлено електрообладнання напругою вище 42 В змінного струму або більше 110 В постійного струму;
- металеві конструкції розподільчих пристроїв, металеві кабельні конструкції та сполучні муфти, металеві оболонки та броня контрольних і силових кабелів;
- металеві корпуси пересувних та переносних електроприймачів;
- електрообладнання, яке розміщене на рухомих частинах станків, машин і механізмів.

1.3. Характеристика заземлюючих пристроїв

Заземлюючим пристроєм називається сукупність заземлювача – провідників (електродів), з'єднаних між собою, що знаходяться в безпосередньому контакті з землею, і заземлюючих провідників, які з'єднують частини електроустановки, що заземлюються, з заземлювачем.

Залежно від місця розміщення заземлювача щодо устаткування, яке заземлюється, розрізняють два типи заземлюючих пристроїв: виносний і контурний.

Виносний заземлюючий пристрій характеризується тим, що його заземлювач винесений за межі майданчика,

на якому розміщено заземлююче обладнання, або зосереджений на деякій частині цього майданчика. Тому виносний заземлюючий пристрій називають також *зосередженим*. Розміщення електродів виносного заземлюючого пристрою може бути виконано "в ряд" або "по контуру".

Істотний недолік виносного заземлюючого пристрою – віддаленість заземлювача від обладнання, внаслідок чого на всій або на частині території, що заземлюється, коефіцієнт дотику $\alpha = 1$, тобто напруга дотику буде максимальною і рівною потенціалу заземлювача (ϕ_3). Тому цей тип заземлюючого пристрою застосовують лише при малих значеннях струму замикання на землю (ГОСТ 12.1.038 - 82) і, зокрема, в установках напругою до 1000 В, де потенціал заземлювача ϕ_3 не перевищує значень допустимої напруги дотику $U_{\text{дот.доп.}}$, В.

Перевагою виносного заземлюючого пристрою є можливість вибору місця розміщення електродів заземлювача з найменшим опором ґрунту (сирий, глинистий і т. д.).

Контурний заземлюючий пристрій характеризується тим, що електроди заземлювача розташовуються по контуру (периметру) площини, на якій знаходиться обладнання, що заземлюється, а також всередині цього майданчика. Часто електроди розподіляють на майданчику за можливістю рівномірно, і тому контурний заземлюючий пристрій називається також *розподіленим*.

Розміщення електродів виносного заземлюючого пристрою може бути "в ряд" або "по контуру" (рис. 1).

Безпека при контурному заземлюючому пристрої може бути забезпечена не за рахунок зменшення потенціалу заземлювача до безпечних значень, а за рахунок вирівнювання потенціалу на території, що захищається до такого значення, щоб максимальні напруги дотику і кроку не перевищували допустимих величин. Це досягається шляхом відповідного розміщення одиночних заземлювачів на території.

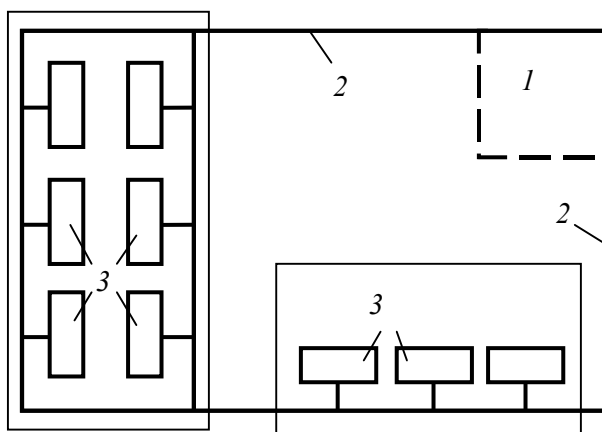


Рис. 1. Виносний заземлюючий пристрій:
1 – заземлювач; 2 – заземлюючі провідники (магістралі);
3 – обладнання, яке заземлюється

1.4. Виконання заземлюючих пристроїв

Заземлювач – провідна частина або сукупність з'єднаних між собою провідних частин, що знаходяться в електричному контакті із землею безпосередньо, або через проміжне провідне середовище.

Провідна частина – частина, яка може проводити електричний струм. Стороння провідна частина – провідна частина, яка не є частиною електроустановки.

Струмопровідна частина – провідна частина електроустановки, яка перебуває у процесі роботи під напругою.

Розрізняють заземлювачі штучні і спеціально виготовлені, призначені виключно для цілей заземлення, і природні.

Для *штучних заземлювачів* застосовуються зазвичай вертикальні і горизонтальні металеві електроди. В якості вертикальних електродів використовуються:

- сталеві труби з товщиною стінки не менше 3,5 мм діаметром 50 – 60 мм;

- кутова сталь з товщиною полиці не менше 4 мм, розміром від 40×40 до 60×60 мм, довжиною 2,5–3 м;

- прутки сталеві діаметром не менше 10 мм, довжиною до 10 м.

Для зв'язку вертикальних електродів як самостійний горизонтальний електрод застосовується смугова сталь перерізом не менше 4×12 мм і сталь круглого перерізу діаметром не менше 6 мм. У разі небезпеки посиленої корозії заземлювачів необхідно застосовувати електроди збільшеного перетину, оцинковані або обміднені.

Для установки вертикальних заземлювачів попередньо риють траншею глибиною $t_0 = 0,5 - 0,8$ м, після чого виконують забивання труб, кутків або прутків за допомогою механізмів (копри, гідропреси, вібратори). Верхні торці занурених у землю вертикальних електродів з'єднують

сталевою смугою довжиною L за допомогою зварювання. Засипка траншей проводиться землею, очищеною від будівельного сміття з подальшою ретельною трамбовкою, що знижує опір розтікання заземлювача, а, отже, дає економію металу.

Штучні заземлювачі можуть бути виконані також з електропровідного бетону.

Природний заземлювач – стороння провідна частина, що знаходиться в електричному контакті із землею безпосередньо, або через проміжне провідне середовище, яка використовується з метою заземлення.

В якості природних заземлювачів можуть використовуватися:

- прокладені в землі водогінні та інші металеві труби (за винятком трубопроводів горючих рідин, горючих або вибухонебезпечних газів);

- осадні труби артезіанських колодязів, свердловин, шурфів тощо;

- металеві та залізобетонні конструкції будівель і споруд, що мають з'єднання з землею;

- свинцеві оболонки кабелів, прокладених у землі;

- металеві шпунти гідротехнічних споруд, тощо.

Природні заземлювачі, як правило, мають малий опір розтікання струму і тому використання їх для заземлення дає відчутну економію металу. Недоліком природних заземлювачів є доступність деяких з них для неелектротехнічного персоналу і можливість порушення безперервності

з'єднання протяжних заземлювачів (при ремонтних роботах тощо).

Заземлюючі провідники – провідники, що з'єднують заземлювальну частину (точку) із заземлювачем.

В якості заземлюючих провідників, призначених для з'єднання заземлюючих частин з заземлювачами, застосовується, як правило, смугова сталь і сталь круглого перерізу. У мережах напругою до 1000 В і вище з ізолюваною нейтраллю, тобто з малими струмами замикання на землю, найменший переріз сталевोї прямокутної шини становить 24 мм² при прокладанні її всередині будівлі і 48 мм² при прокладанні поза будівлею, або в землі; для круглої сталі найменший діаметр дорівнює 5 і 6 мм відповідно.

У виробничих приміщеннях з електроустановками напругою вище 1000 В магістралі заземлення (заземлюючі провідники з двома і більше відгалуженнями) зі сталевोї смуги повинні мати переріз не менше 120 мм², а напругою до 1000 В – не менше 100 мм². Допускається застосування сталі круглого перерізу тієї ж струмопровідності.

У всіх випадках не потрібно застосовувати мідні провідники перетином більше 25 мм², алюмінієві – більше 35 мм² і сталеві – 120 мм². Прокладання в землі алюмінієвих неізолюваних провідників не допускається. Штучні заземлювачі не повинні мати забарвлення.

У табл. 1 Додатків наведено найменші розміри заземлювачів і заземлюючих провідників, прокладених у землі.

Рекомендується з метою економії металу використовувати в якості заземлюючих провідників так звані при-

родні провідники – металеві конструкції будівель і споруд: ферми, колони, підкранові шляхи, каркаси розподільних пристроїв, шахти підйомників, ліфтів та елеваторів, а також обрамлення каналів, сталеві труби електропроводок, алюмінієві оболонки кабелів, металеві кожухи шинопроводів, металеві стаціонарні відкрито прокладені трубопроводи всіх призначень (крім трубопроводів горючих і вибухонебезпечних сумішей, каналізації та центрального опалення).

Прокладка заземлюючих провідників виконується відкрито по конструкціях будівель, у тому числі по стінах. Заземлюючі провідники в закритих приміщеннях повинні бути доступні для огляду. Відгалуження від магістралей до електроприймачів напругою до 1000 В допускається прокладати приховано безпосередньо в стіні, під чистою підлогою з попереднім захистом їх від впливу агресивних середовищ. Такі відгалуження не повинні мати з'єднань.

У зовнішніх установках заземлюючі провідники допускається прокладати в землі, в підлозі, а також по краю майданчиків фундаментів технологічних установок тощо.

Приєднання обладнання, яке заземлюється, до магістралей заземлення здійснюється за допомогою окремих провідників. При цьому послідовне включення цього обладнання не допускається (рис. 2).

Головна заземлююча магістраль (шина) – шина, що є частиною заземлюючого пристрою до 1000 В і призначена для приєднання декількох провідників з метою заземлення і зрівнювання потенціалів.

Заземлення окремих електродвигунів, апаратів та іншого обладнання, встановлених безпосередньо на металевих верстатах, які мають з металом верстатів надійний контакт, може здійснюватися шляхом приєднання станини верстатів до заземлюючої магістралі.

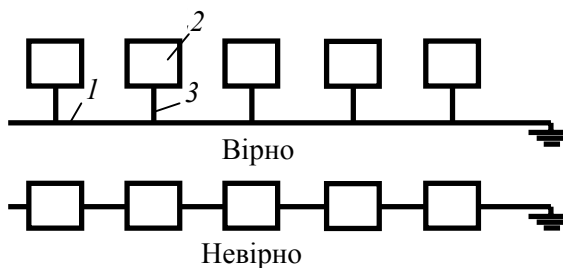


Рис. 2. Схема приєднання об'єктів заземлення до заземлюючої магістралі:

1 – заземлююча магістраль; 2 – заземлююче обладнання;
3 – провідник-відгалуження до заземлюючої магістралі

З'єднання заземлюючих провідників між собою, а також із заземлювачами та заземлюючими конструкціями, виконується, як правило, зварюванням, а з корпусами апаратів, машин та іншого обладнання – зварюванням або за допомогою болтів. Від'єднання від шини можливо тільки з використанням інструменту.

При цьому приєднання заземлюючої магістралі до заземлювача – штучного або природного – виконується в двох місцях. Відкрито прокладені заземлюючі провідники повинні мати відмінне забарвлення: на зеленому фоні жовті смуги.

Головна заземлююча магістраль повинна бути, як правило, мідною, допускається зі сталі; із алюмінію не допускається.

Що треба заземлювати в електроустановках?

В електроустановках необхідно заземлювати корпуси трансформаторів, електричних машин, апаратів, світильників, пускової апаратури і т. п., металеві корпуси пересувних та переносних електроприймачів, вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів.

У трансформаторів струму, встановлених у ланцюгах напругою 500 В і вище, вторинна обмотка повинна бути одним полюсом заземлена на затискачах. У трансформаторів напруги заземлюють нульові точки, а при з'єднанні їх обмоток у відкритому трикутнику – спільну точку вторинних обмоток. Вторинні обмотки трансформаторів напруги, з'єднані в зірку, можуть бути заземлені через пробивний запобіжник.

Необхідно також заземлювати каркаси розподільних щитів, щитів управління, щитків і шаф, металеві конструкції розподільних пристроїв, металеві кабельні конструкції, металеві корпуси кабельних муфт, металеві оболонки і броні контрольних і силових кабелів, металеві оболонки проводів, сталеві труби електропроводки, гаки і штирі фазних голих проводів та інші металеві конструкції, пов'язані з установкою електроустаткування, арматури залізобетонних опор.

Що не треба заземлювати в електроустановках?

- Обладнання, встановлене на заземлених металевих конструкціях. Опорні поверхні в місці зіткнення обладнання з конструкцією повинні бути ретельно зачищені для забезпечення між ними електричного контакту;
- корпуси електровимірювальних приладів (амперметрів, вольтметрів та ін.), реле і т. п., установлених на щитах, шафах, а також на стінках камер;
- арматуру підвісних та штирі опорних ізоляторів, кронштейни й освітлювальну арматуру при установках їх на дерев'яних опорах ліній електропередачі і на дерев'яних конструкціях відкритих підстанцій;
- рейкові шляхи, що виходять за територію підстанцій та розподільчих пристроїв;
- Знімні частини або такі, що відкриваються на металевих заземлених каркасах і камерах розподільних пристроїв огорож, шаф, дверей і т. п.

1.5. Класифікація приміщень з точки зору електробезпеки

Заходи щодо забезпечення електробезпеки залежать від призначення приміщення, в якому розташована електроустановка, і від характеру приміщення. За призначенням розрізняють спеціалізовані приміщення з електроустановками і приміщення іншого призначення (виробничі, побутові, службові, торговельні і т. п.).

Приміщення з електроустановками – це такі приміщення або відгороджені частини приміщення, в яких вста-

новлено експлуатоване електрообладнання та які доступні тільки для особового складу, який має необхідну кваліфікацію і допуск для обслуговування електроустановок.

Приміщення з електроустановками характеризуються, як правило, умовами, що відрізняються від нормальних – підвищеною температурою, вологістю і великою кількістю металевого обладнання, з'єднаного з землею. Все це створює підвищену небезпеку ураження електричним струмом. У Правилах установки електроустановок наведена наступна класифікація приміщень: сухі, вологі, сирі, особливо сирі, жаркі і пилові.

Сухими приміщеннями називають приміщення, в яких відносна вологість повітря не перевищує 60 %.

Вологими приміщеннями називають приміщення, в яких пари і конденсована волога виділяються лише короткочасно в невеликих кількостях, а відносна вологість повітря більше 60 %, але не перевищує 75 %.

Сирими приміщеннями називають приміщення, в яких відносна вологість повітря тривалий час перевищує 75 %.

Особливо сирими приміщеннями називають приміщення, в яких відносна вологість повітря близька до 100 % (стелі, стіни, підлога і предмети, що знаходяться в приміщенні, вкриті вологою).

Жаркими приміщеннями називають приміщення, в яких під впливом різних теплових випромінювань температура перевищує постійно або періодично (більше доби) 35°C.

Пиловими приміщеннями називають приміщення, в яких за умовами виробництва виділяється технологічний пил

у такій кількості, що він може осідати на дротах, проникати всередину машин, апаратів і т. п. Пилові приміщення поділяють на приміщення з струмопровідним пилом і приміщення з струмонепровідним пилом. Крім того, розрізняють приміщення з хімічно активним чи органічним середовищем, де постійно або протягом тривалого часу містяться агресивні пари, гази, рідини, утворюються відкладення або цвіль, що руйнують ізоляцію і струмоведучі частини електрообладнання.

Враховуючи ці ознаки, приміщення поділяють на три групи за ступенем небезпеки ураження електричним струмом.

Приміщення без підвищеної небезпеки, в яких відсутні умови, що створюють підвищену або особливу небезпеку.

Приміщення з підвищеною небезпекою, які характеризуються наявністю в них однієї з наступних умов, що створюють підвищену небезпеку: вогкості або струмопровідного пилу, струмопровідних підлог (металевих, земляних, залізобетонних, цегляних і т. п.), високої температури, можливості одночасного дотику людини до металоконструкцій будинків, які не мають з'єднання з землею, а також до технологічних апаратів, механізмів, з одного боку, і до металевих корпусів електрообладнання, з іншого боку.

Особливо небезпечні приміщення, які характеризуються наявністю однієї з наступних умов, що створюють особливу небезпеку: особливої вогкості, хімічно активного чи органічного середовища, одночасно двох або більше умов підвищеної небезпеки.

У відношенні небезпеки поразки особового складу електричним струмом території розміщення зовнішніх електроустановок прирівнюються до особливо небезпечних приміщень.

1.6. Електрозахисні засоби для електроустановок напругою до 1000 В

Основними електрозахисними засобами в електроустановках напругою до 1000 В є діелектричні рукавички, ізолюючі штанги, ізолюючі та електровимірювальні кліщі, слюсарно-монтажний інструмент з ізолюючими рукоятками і покажчики напруги.

Найбільш широке застосування знаходять діелектричні рукавички, виготовлені з гуми. Перед застосуванням рукавички необхідно перевірити на герметичність. Застосовувати негерметичні рукавички забороняється.

Слюсарно-монтажний інструмент з ізолюючими рукоятками застосовують при виконанні робіт під напругою 220 / 380 В. Зазвичай використовують односторонні гайкові ключі, викрутки, плоскогубці, кусачки, ножі з ізолюючими рукоятками. Ізоляція рукояток інструменту, виготовлена з пластмаси, є основним засобом захисту. Для перевірки наявності або відсутності напруги на струмоведучих частинах без визначення його значення служать покажчики напруги: двополюсні, що працюють за активного струму; для електроустановок змінного і постійного струму напругою до 500 В, і однополюсні, що працюють при ємнісному

струмі; для електроустановок змінного струму напругою до 380 В. Сигналізатором служить газорозрядна індикаторна лампа. Двополюсні показчики напруги мають два щупа, з'єднані гнучким провідником.

Для їх роботи є необхідним одночасний дотик до двох фаз або до однієї фази і нульового проводу. Однополюсні показчики напруги виконують у вигляді авторучки. Для їх роботи досить доторкнутися щупом до однієї струмоведучою частини електроустановки і рукою – до металевого контакту у верхній частині конструкції. При цьому струм протікає через тіло людини і землю. Однополюсні показчики рекомендується застосовувати при перевірці схем вторинної комутації, визначенні фазного проводу при підключенні електролічильників, патронів, вимикачів, запобіжників і т. п.

Ізолюючі кліщі застосовують для операцій зі вставками трубчастих запобіжників, а також для надягання на ножі однополюсних роз'єднувачів і зняття ковпаків. Ізолюючі кліщі виконують з пластмаси.

Додатковими електрозахисними засобами є діелектричні калоші (боти), чоботи, діелектричні гумові килимки, доріжки і ізолюючі підставки. Їх застосовують для ізоляції людини від основи, на якій вона стоїть. Боти застосовують в електроустановках будь-якої напруги, а калоші і чоботи – тільки при напрузі до 1000 В.

Діелектричні килимки і доріжки – це ізолюючі підставки. Їх застосовують у закритих електроустановках будь-якої

напруги. Ізолюючі підставки також ізолюють людини від ґрунту або підлоги. В електроустановках напругою до 1000 В ізолюючі підставки виконують без фарфорових ізоляторів, а вище 1000 В – обов'язково з фарфоровими ізоляторами.

1.7. Випробування електрозахисних засобів.

Всі електрозахисні засоби підлягають електричним випробуванням для встановлення їх діелектричних властивостей після виготовлення, ремонту і періодично в процесі експлуатації. Перед випробуванням захисний засіб оглядають і при наявності механічних пошкоджень бракують.

Випробування проводять, як правило, змінним струмом промислової частоти. Після випробувань на захисні засоби лабораторія, яка їх перевіряє, ставить штамп, що засвідчує їх придатність до подальшої експлуатації.

Терміни і норми випробувань (випробувальна напруга, тривалість випробувань і струм витоку) приймають згідно з Правилами технічної експлуатації (ПТЕ). Зазвичай тривалість випробувань не перевищує 1 хв. Випробувальну напругу, як правило, приймають рівною триразовій лінійній напрузі електроустановки.

Ізолюючу частину штанги і кліщів випробовують підвищеною напругою. Їх вважають такими, що витримали випробування, якщо протягом усього періоду випробувань не виникали розряди на поверхні, не були відзначені коливання показань приладів і після зняття випробувальної напруги ізолювальна частина не мала місцевих нагрівань.

Діелектричні гумові рукавички, боти, калоші, чоботи і слюсарно-монтажний інструмент з ізолюючими рукоятками випробовують на струм витоку у ванні з водопровідною водою. Струм витоку для різних виробів не повинен перевищувати 7,5 мА при підвищеній напрузі. Якщо не стався пробій і показання міліамперметра не перевищували норму, вважається, що виріб витримав випробування. Рукоятки показчиків напруги перевіряють на електричну міцність ізоляції напругою 1000 В протягом 1 хв., а також визначають поріг запалювання неонові лампи, що не повинен перевищувати 90 В. Струм при випробуваннях не повинен перевищувати 4 мА.

2. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ВЕЛИЧИНИ ОПОРУ ШТУЧНОГО ЗАХИСНОГО ЗАЗЕМЛЕННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОЇ УСТАНОВКИ

Схема захисного заземлення електротехнічної установки наведена на рис. 3.

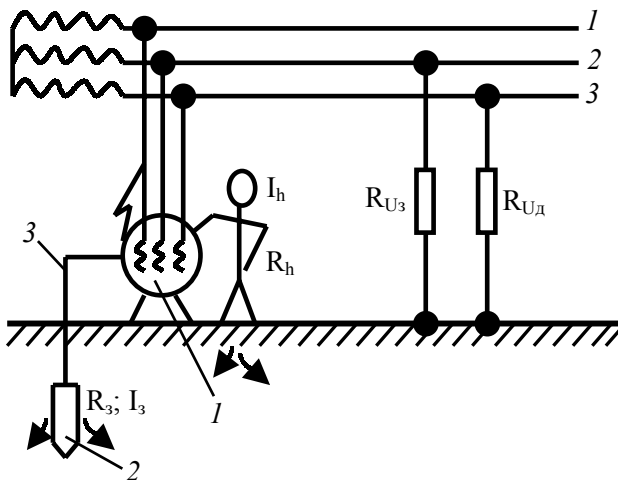


Рис. 3. Схема захисного заземлення електротехнічної установки:
1 – заземлювальний пристрій; 2 – штучний заземлювач;
3 – заземлюючий провідник

Схема штучного заземлювального пристрою наведена на рис. 4.

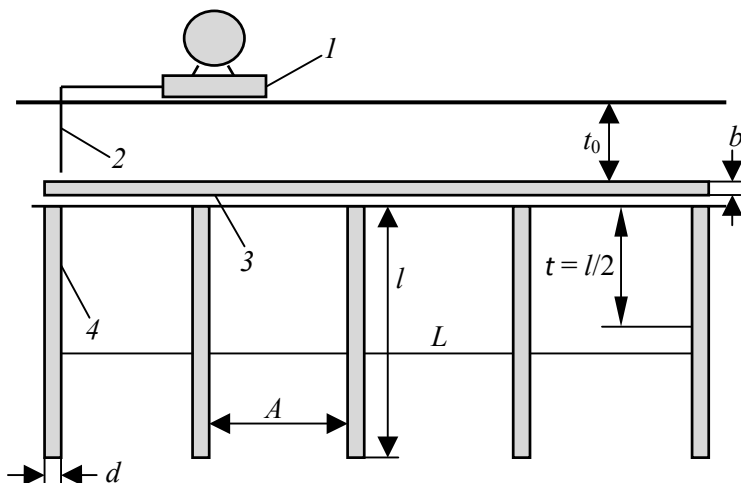


Рис. 4. Схема штучного захисного заземлення:
 1 – заземлювальна електротехнічна установка; 2 – заземлюючий провідник; 3 – заземлююча магістраль (шина); 4 – вертикальний заземлювач

Розрахунок опору штучного захисного заземлення вважатиметься виконаним правильно, якщо його величина R не буде перевищувати встановлених нормативних значень (ГОСТ 12.1.038-81, ПУЕ, табл. 6).

2.1. Основні етапи розрахунку величини опору штучного захисного заземлення

Методика розрахунку включає декілька етапів:

1. Визначають величину опору одиночного вертикального заземлювача за формулою:

$$R_B = \frac{\left\{ \rho_{\text{расч}} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{(4 \cdot t + 1)}{(4 \cdot t - 1)} \right) \right\}}{2\pi \cdot l}, \text{ Ом}, \quad (1)$$

де l – довжина вертикального заземлювача, м; d – діаметр вертикального заземлювача, м (для кутового з шириною полиці b , $d = 0,5 \cdot b$).

Розрахунковий опір ґрунту $\rho_{\text{розрах}}$ знаходять за формулою:

$$\rho_{\text{розрах}} = \rho_{\text{пит}} \cdot \varphi, \text{ Ом} \cdot \text{м}, \quad (2)$$

де $\rho_{\text{пит}}$ – питомий опір ґрунту, (табл. 2); φ – кліматичний коефіцієнт (табл. 3).

Заглиблення заземлення t обчислюють за формулою:

$$t = t_0 + \frac{l}{2 \cdot l}, \text{ м}, \quad (3)$$

де t_0 – глибина траншеї, в яку забиваються вертикальні заземлювачі, м.

Конкретні значення величин, що входять у формули, приймають з урахуванням номера варіанта, що задається викладачем, згідно з табл. 7.

Знайдене значення опору захисного заземлення R_B порівнюють з допустимим (табл. 6) і роблять висновок про забезпечення або незабезпечення надійного захисту персоналу від ураження електричним струмом з використанням одиночного вертикального заземлювача в разі короткого замикання на корпус електроустановки.

2. У тому випадку, коли захист за допомогою одиночного вертикального заземлювача не забезпечено, визначають необхідне число вертикальних заземлювачів n за формулою:

$$n = \frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{д}}} \cdot \eta_{\text{в}}, \text{ шт}, \quad (4)$$

де $R_{\text{д}}$ – допустиме значення опору захисного заземлення, Ом (табл. 6); $\eta_{\text{в}}$ – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів, що залежить від відношення відстані між вертикальними електродами A до їх довжини l (приймають у діапазоні від 1 до 3) і від варіанта виконання заземлення: "в ряд" або "по контуру".

Порядок розрахунку n :

- 1) прийняти $\eta_{\text{в}} = 1$ і знайти n з формули (4);
- 2) за знайденим числом n з табл. 4 методом інтерполяції визначити уточнене значення $\eta_{\text{в}}$;
- 3) підставити певне значення $\eta_{\text{в}}$ з табл. 4 у формулу (4) і визначити остаточне число вертикальних заземлювачів n ;
- 4) округлити отримане значення n до більшого цілого числа (наприклад, $n = 3,25$, прийняти $n = 4$).

Розраховану кількість заземлювачів n забивають в підготовлену траншею вертикально через певну відстань і з'єднують їх всі між собою горизонтальним електродом (смугою або прутком) довжиною L відповідного перетину.

3. Визначають опір горизонтального електрода за формулою:

$$R_{\Pi} = \frac{\rho_{\text{розрах.}}}{2\pi \cdot L} \cdot \ln \frac{L^2}{d_1 \cdot t}, \text{ Ом}, \quad (5)$$

де L – довжина смуги, м, визначається за формулами:

- при розміщенні в ряд

$$L = (1 \div 3) \cdot l \cdot (n - 1), \text{ м}; \quad (6)$$

- при розміщенні по контуру:

$$L = (1 \div 3) \cdot l \cdot n, \text{ м}, \quad (7)$$

де $\rho_{\text{розрах}}$ визначається за формулою (2) з урахуванням ґрунту (табл. 2) і довжини смуги (табл. 3);

d_1 – діаметр горизонтального електрода, м (для смуги

$d_1 = \frac{1}{2} \cdot b$, де b – ширина горизонтальної смуги, м).

4. Визначають величину загального розрахункового опору заземлювального пристрою за формулою:

$$R_{\text{заг}} = \frac{R_{\text{в}} \cdot R_{\text{д}}}{(R_{\text{в}} \cdot \eta_{\Gamma} + R_{\Pi} \cdot \eta_{\text{в}} \cdot n)}, \text{ Ом}, \quad (8)$$

де η_{Γ} – коефіцієнт використання горизонтального електрода (табл. 5).

Знайдену величину загального розрахункового опору заземлювального пристрою $R_{\text{заг}}$ порівнюють з допустимим (нормованим) значенням $R_{\text{д}}$ (табл. 6) і роблять висновок про надійність захисту персоналу від ураження електричним струмом у разі замикання на корпус електроустановки.

У тому випадку, якщо $R_{\text{заг}}$ буде перевищувати значення $R_{\text{д}}$, слід за вказівкою викладача повторити розрахунок, змінивши вихідні дані.

Захист персоналу при замиканні на корпус електроустановки, що має захисне заземлення, буде надійно забезпечений, коли розрахована величина загального опору захисного заземлення не перевищує нормативного значення.

2.2. Приклад розрахунку величини опору штучного захисного заземлення

Припустимо, що є такі дані для розрахунку:

1. Розміщення електродів – "в ряд" – P ;
2. Вид вертикального заземлювача – труба;
3. Діаметр вертикального заземлювача $d = 60$ мм;
4. Довжина вертикального заземлювача $l = 4$ м;
5. Відношення $\frac{A}{l} = 2$;
6. Номер ґрунту – 5, $\rho_{\text{пит}} = 100$ Ом · м;
7. Кліматична зона – 2;
8. Глибина траншеї $t_0 = 0,5$ м;
9. Тип електричної мережі Б₁ з $R_{\text{д}} = 4$ Ом;
10. Горизонтальний електрод – смуга;
11. Ширина горизонтального електрода $b = 80$ мм.

Розрахунок

1. За формулою (1) знаходимо $R_{\text{в}}$ – опір одиночного вертикального заземлювача, при цьому:

$\rho_{\text{пит}} = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$; $\psi = 1,45$ (для 2-ї кліматичної зони та $l = 4 \text{ м}$, що $\leq 5 \text{ м}$); $\pi = 3,14$; $l = 4 \text{ м}$; $d = 0,06 \text{ м}$;

$$t = 0,5 + \frac{1}{2} \cdot 4 = 2,5 \text{ м};$$

$$R_d = \frac{100 \cdot 1,45 \left(\ln \frac{2 \cdot 4}{0,06} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2,5 + 1}{4 \cdot 2,4 - 1} \right)}{2 \cdot 3,14 \cdot 4,0} = 28,79 \text{ Ом},$$

що $\geq R_d = 4 \text{ Ом}$ (для електричної мережі Б₁).

Висновок: опір захисного заземлення з одиночним вертикальним заземлювачем у вигляді труби довжиною 4 м, діаметром 60 мм дорівнює 28,79 Ом **не забезпечує** надійного захисту персоналу від ураження електричним струмом при короткому замиканні на корпус електроустановки, що живиться від електричної мережі напругою до 1000 В з ізольованою нейтраллю.

2. Визначаємо необхідне число вертикальних заземлювачів n за формулою (4):

– приймаємо $\eta_b = 1$;

– знаходимо $n = \frac{28,79}{4,0} = 7,2 \text{ шт}$;

– за табл. 4 методом інтерполяції для $n \approx 7$, $\frac{A}{l} = 2 \text{ шт}$,

при розміщенні заземлення "в ряд" знаходимо $\eta_b = 0,76$;

– визначаємо уточнене число n за формулою (4) з $\eta_v = 0,76$;

$$n = \frac{28,79}{4,0} \cdot 0,76 = 5,41;$$

– округляємо число n у бік збільшення і приймаємо $n = 6$ шт.

3. Визначаємо опір горизонтального електрода, що з'єднує 6 вертикальних заземлювачів, за формулою (5), для чого:

– визначаємо довжину горизонтальної смуги l при розміщенні заземлення "в ряд", $\frac{A}{l} = 2$ за формулою (6):

$$L = 2 \cdot 4,0 \cdot (6 - 1) = 40 \text{ м};$$

– визначаємо кліматичний коефіцієнт ψ , для горизонтальної смуги довжиною 40 м, для 2-ї кліматичної зони за табл. 3, $\psi_1 = 1,25$;

– визначаємо d_1 , який для смуги дорівнює $\frac{1}{2} \cdot 0,08 \text{ м}$,

отже,

$$d_1 = 0,08 / 2 = 0,040 \text{ м},$$

$$\text{тоді } R_v = \frac{100 \cdot 1,45 \cdot \ln 40^2}{2 \cdot 3,14 \cdot 4,0} = 4,84 \text{ Ом}.$$

4. Визначаємо величину $R_{\text{заг}}$ загального розрахункового опору заземлювального пристрою за формулою (8), при цьому: з табл. 5 при $\frac{A}{l} = 2$, числі вертикальних зазем-

лювачів $n = 6$ і розміщенні "в ряд" визначаємо $\eta_r = 0,8$, тоді:

$$R_{\text{заг}} = \frac{28,79 \cdot 4,84}{28,79 \cdot 0,80 + 4,84 \cdot 0,76 \cdot 6} = 3,07 \text{ Ом, що } < R_d = 4 \text{ Ом.}$$

Висновок: загальний опір захисного заземлення $R_{\text{заг}}$, що складається з 6-ти вертикальних заземлювачів діаметром 60 мм, довжиною 4 м, розташованих "в ряд", з'єднаних горизонтальним електродом у вигляді смуги шириною 80 мм, довжиною 40 м, дорівнює 3,07 Ом, що **забезпечує** надійний захист персоналу від ураження електричним струмом при замиканні на корпус електроустановки, яка живиться від електричної мережі напругою до 1000 В з ізолюваною нейтраллю генератора (трансформатора) і з допустимим значенням опору $R_d \leq 4 \text{ Ом}$.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Якими нормативними документами регламентується заземлення та заходи захисту?
2. Що таке заземлення, захисне заземлення?
3. Призначення захисного заземлення.
4. Що таке робоче заземлення, його призначення?
5. Що таке замикання на корпус?
6. Причини замикання на корпус.
7. Що таке заземлення блискавкозахисту, його призначення?
8. Принцип дії захисного заземлення.
9. Що таке опір заземлення?
10. Області застосування захисного заземлення.
11. Що таке заземлюючий пристрій?
12. Назвіть типи заземлюючих пристроїв.
13. Що таке виносний заземлюючий пристрій?
14. Чим характеризується контурний заземлюючий пристрій?

15. За рахунок чого забезпечується безпека при контурному заземлюючому пристрої?

16. Що таке заземлювач?

17. Що таке провідна частина?

18. Що таке струмопровідні частини?

19. Назвіть види заземлювачів.

20. Що застосовується для вертикальних і горизонтальних штучних заземлювачів?

21. Яким способом з'єднуються вертикальні заземлювачі з горизонтальним електродом?

22. Опишіть метод установки вертикальних заземлювачів.

23. З якого ще матеріалу можуть бути виконані штучні заземлювачі?

24. Що таке природний заземлювач?

25. Що може служити в якості природних заземлювачів?

26. Вкажіть переваги і недоліки природних заземлювачів.

27. Що таке заземлюючий провідник?

28. Що з природних провідників може бути рекомендовано в якості заземлюючих провідників?

29. Що заборонено використовувати в якості заземлюючих провідників?

30. Назвіть правила прокладання заземлюючих провідників.

31. Призначення головної заземлюючої магістралі (шини).

32. Способи з'єднання заземлюючих провідників між собою, з заземлювачами і заземлювальними конструкціями.

33. Які матеріали можуть використовуватися для виготовлення магістралі (шини)?

34. Які забарвлення повинні мати відкрито прокладені заземлюючі провідники?

35. Вкажіть допустимі значення опору захисного заземлення при напрузі електричної мережі до і понад 1000 В.

36. Охарактеризуйте спосіб виконання захисного заземлення "в ряд" і "по контуру".

37. Як проводяться випробування електрозахисних засобів?

38. Що підлягає обов'язковому заземленню в електроустановках?

39. Які існують електрозахисті засоби для електроустановок?

40. Класифікація приміщень з точки зору електробезпеки.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. **Долин, П. А.** Основы техники безопасности в электроустановках [Текст] : учеб. пособие для вузов / П. А. Долин. – М. : Энергия, 1979. – 408 с.
2. **Карякин, Р. Н.** Заземляющие устройства электроустановок [Текст] : справочник / Р. Н. Карякин. – М. : Энергосервис, 2006. – 519 с.
3. **Князевский, Б. А.** Охрана труда в электроустановках [Текст] : учебник для вузов, 3-е изд., перераб. и доп. / Б. А. Князевский, Т. П. Марусова. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 336 с.
4. **Найфельд, М. Р.** Заземление, защитные меры электробезопасности [Текст] : изд. 4-е, перераб. и доп. / М. Р. Найфельд. – М. : Энергия, 1971. – 312 с.
5. Правила устройства электроустановок: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7 [Текст] : 6 выпуск (с изм. и доп. по состоянию на 1 сентября 2006 г.). – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2006. – 854 с., ил.

6. Охорона праці в галузі: Методичні рекомендації та завдання до контрольної роботи для студентів заочної форми навчання енергетичних спеціальностей ВНЗ [Текст] / С. С. Рижков, О. В. Щедролюєв, Л. Л. Мойсеєнко, А. М. Тубальцев. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 32с.

7. ГОСТ 12.1.013-78 "ССБТ. Строительство. Электробезопасность" [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://document.ua>.

8. ГОСТ 12.1.030-81 "ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление" [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://budstandart.com>.

9. ГОСТ 12.1.038-82 "ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов" [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://document.ua>.

10. ГОСТ Р 50571(МЭК-364) Электроустановки зданий [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://stroynote.com.ua>.

11. НПБ 105-03 Нормы пожарной безопасности [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://energocon.com>.

ДОДАТКИ

Таблиця 1. Матеріали та розміри заземлювачів і заземлюючих пристроїв

Матеріал	Профіль перерізу	Діаметр, мм	Площа поперечного перерізу, мм ²	Товщина стінки, мм
Сталь чорна	Круглий:			
	для вертикальних заземлювачів	—	16	—
	для горизонтальних заземлювачів	—	10	—
	Прямокутний	—	100	4
	Кутковий	—	100	4
	Трубний	32	—	3,5
Сталь оцинкована	Круглий:			
	для вертикальних заземлювачів	—	12	—
	для горизонтальних заземлювачів	—	10	—
	Прямокутний	—	75	3
	Трубний	25	—	2
Мідь	Круглий	12	—	—
	Прямокутний	—	50	2
	Трубний	20	—	2
	Канат багатодротяний	1,8*	35	—

* Діаметр кожного дроту.

Таблиця 2. Значення питомих опорів ґрунтів

№ ґрунту	Назва ґрунту	Питомий опір, $\rho_{\text{пит}}$, Ом·м
1	торф	20
2	чорнозем	20
3	глина	40
4	садова земля	40
5	суглинок	100
6	супісок	300
7	ґрунт скалистий	500
8	пісок	700

Таблиця 3. Ознаки кліматичних зон (1, 2, 3, 4) і значення кліматичного коефіцієнта ψ

Дані, що характеризують кліматичні зони і тип електродів, що застосовуються	1	2	3	4
1. Кліматичні ознаки зон:				
– середня багаторічна найнижча температура (січень), °С	-15 ÷ -20	-10 ÷ -14	0 ÷ -10	0 ÷ +5
– середня багаторічна найвища температура (липень), °С	+16 ÷ +18	+18 ÷ +22	+22 ÷ +24	+24 ÷ +26
– тривалість замерзання вод, днів	170 ÷ 190	≈ 150	≈ 100	0
2. Значення коефіцієнта ψ :				
– при застосуванні вертикальних електродів довжиною до 5 м	1,65	1,45	1,3	1,1
– те ж саме при довжині електродів 5 та більше м	1,35	1,25	1,15	1,1
– те ж саме при застосуванні горизонтальних електродів довжиною до 50 м	5,5	3,5	2,5	1,5
– те ж саме при довжині 50 та більше м	4,5	3,0	2,0	1,4

Таблиця 4. Значення коефіцієнтів використання вертикальних електродів η_v

Число заземлювачів n , шт	Відношення відстані між електродами A до їх довжини l					
	1	2	3	1	2	3
	Розміщення в ряд			Розміщення по контуру		
2	0,85	0,91	0,94	–	–	–
4	0,73	0,83	0,89	0,69	0,78	0,85
6	0,65	0,77	0,85	0,61	0,73	0,80
10	0,59	0,74	0,81	0,56	0,68	0,76
20	0,48	0,67	0,76	0,47	0,63	0,71
40	–	–	–	0,41	0,58	0,66
60	–	–	–	0,39	0,55	0,64
100	–	–	–	0,36	0,52	0,62

Таблиця 5. Значення коефіцієнтів використання горизонтальних електродів η_{Γ}

Відношення відстані між електродами A до їх довжини l	Число вертикальних заземлювачів							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Розміщення в ряд								
1	0,85	0,77	0,72	0,62	0,42	—	—	—
2	0,94	0,84	0,80	0,75	0,56	—	—	—
3	0,96	0,92	0,88	0,82	0,68	—	—	—
Розміщення по контуру								
1	—	0,45	0,40	0,34	0,27	0,22	0,20	0,19
2	—	0,55	0,48	0,40	0,32	0,29	0,27	0,23
3	—	0,70	0,64	0,56	0,45	0,39	0,36	0,33

Таблиця 6. Допустимі (нормативні) значення опору захисного заземлення в електричних мережах

Тип електр. мережі	Напруження електр. мережі	Режим нейтралі	Умовне позначення мережі	Допустиме значення опору R_d , Ом
ТТ	до 1000 В	глухо-заземлена	А 1	≤ 2 (для лін-го $U = 660$ В)
			А 2	≤ 4 (для лін-го $U = 380$ В)
			А 3	≤ 8 (для лін-го $U = 220$ В)*
ІТ	до 1000 В	ізолювана	Б 1	≤ 4
			Б 2	≤ 10 (при потужності генератора, трансформатора ≤ 100 кВА)
І N	вище 1000 В	ізолювана	В	≤ 10
Т N	вище 1000 В	глухо-заземлена	Г	$\leq 0,5$

Лінійні напруги наведені для 3-х фазного електричного струму; такі ж значення опору R_d встановлені для лінійних напруг відповідно 380, 220 і 127 В для однофазного електричного струму.

Таблиця 7. Вихідні дані для розрахунку

Параметри	Варіанти														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Розміщення електродів: в ряд – Р; по контуру – К	Р	К	Р	К	Р	К	Р	К	Р	Р	Р	К	Р	К	Р
Вид вертикального заземлення: труба – Т; пруток – П; кутник – К	Т	П	К	Т	П	К	Т	П	К	Т	П	К	Т	П	К
Розміри вертикального заземлення: - діаметр (полка), мм; - довжина, м	10 3,0	10 8,0	15* 3,5	60 2,5	20 6,0	80 2,0	50 3,5	15 5,0	80 3,0	15 2,5	25 4,0	60 2,5	55 4,0	12 6,5	90 3,0
Відношення A/l	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
№ ґрунту	1	2	3	4	5	6	7	5	1	2	3	4	5	6	5
№ кліматичної зони	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
Глибина траншеї, м	0,5	0,6	0,7	0,8	0,5	0,6	0,7	0,8	0,5	0,6	0,7	0,8	0,5	0,6	0,7
Тип електричної мережі	A1	Г	В	Г	A2	Б2	В	Г	A2	Б1	В	Г	A1	Б2	Б1
Вид і розмір горизонтального електрода: - пруток діаметром d_1 , мм; - полоса шириною b , мм	20 –	– 40	15 –	– 60	20 –	– 80	50 –	– 50	35 –	– 90	25 –	– 40	30 –	– 30	25 –

* Розмір "полка" 45 мм для куткової сталі означає переріз кутка 45×45 мм.

Продовж. табл. 7

Параметри	Варіанти									
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Розміщення електродів: в ряд – Р; по контуру – К	К	Р	К	Р	К	Р	Р	К	К	Р
Вид вертикального заземлення: труба – Т; пруток – П; кутник – К	Т	П	К	Т	П	К	Т	П	К	Т
Розміри вертикального заземлення: - діаметр (полка), мм; - довжина, м	10 3,0	10 10	15* 4,0	60 3,5	20 8	80 3,5	50 5,0	15* 6	12 4,5	50 6,0
Відношення A/l	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
№ ґрунту	3	5	6	4	5	6	7	4	5	3
№ кліматичної зони	1	4	2	3	4	1	4	3	4	1
Глибина траншеї, м	0,5	0,6	0,7	0,8	0,5	0,6	0,7	0,8	0,5	0,6
Тип електричної мережі	Г	А1	Б1	Г	Г	А3	Б2	Г	А2	А1
Вид і розмір горизонтального електрода: - прутки діаметром d_1 , мм; - полоса шириною b , мм	– 40	30 –	– 30	20 –	– 50	35 –	– 45	35 –	– 35	25 –