

ДОСЛІДЖЕННЯ ОПОРУ ГЛИБИННОГО ЗАЗЕМЛЮВАЧА В БАГАТОШАРОВІЙ ЗЕМЛІ У ПОРІВНЯННІ З ВЕРТИКАЛЬНИМ БАГАТОЕЛЕКТРОДНИМ ЗАЗЕМЛЕННЯМ

В роботі проведено дослідження питомого опору багат шарового ґрунту, та визначення куюпору заземлень з урахуванням реальної геологічної структури ґрунту. Виконано розрахунок захисного вертикального багатоелектродного зеземлення, та глибинного заземлення, при різних значеннях питомих опорів шарів ґрунту. На основі проведених розрахунків проведено техніко – економічне порівняння двох варіантів організації заземлення.

Ключові слова. заземлювач, питомий, опір, норма, глибина, вертикальний, горизонтальний.

O.V. BONDARENKO, I.V. STAREN'KYY, I.R. STAREN'KA
O.S. Popov Odessa National Academy of Telecommunications

STUDY OF DEEP GROUNDING RESISTANCE IN MULTILAYER GROUND IN COMPARE WITH THE VERTICAL MULTIELECTRODE GROUNDING

Abstract. In this work were made researches of the resistivity of multilayer soil and determination of resistance grounding taking into account real geological structure of the soil. Also were made the technical - economic comparison of the two variants of organization the grounding. Were performed the calculation of protective vertical multielectrode and deep grounding at different values of soil resistivity layers. On the basis of the made calculations were performed the technical - economic comparison for the two variants of the grounding organization.

Keywords. grounding, resistivity, resistance, norm, depth, vertical, horizontal.

У реальних умовах земля має багат шарову будову, однак, для практичних розрахунків досить уявити землю у виді двошарової структури. У ряді випадків питомий опір нижнього шару менше опору верхнього шару, тому доцільно використовувати заглибленні (від 5 до 10 м) та глибинні (більше 10 м) заземлювачі, що приводить до суттєвої економії коштів, праці та матеріалів [1]. Глибинні заземлювачі використовують у тому випадку, коли за допомогою багатоелектродного заземлення неможливо отримати потрібної величини опору заземлення.

Заземлювачі довжиною до 10 м доцільно занурювати в землю нерозрізаним за допомогою укочування. Для укочування використовуються переносні обертові станки, наприклад, електродриль з редукторною приставкою, електричні дрилі, тощо. Для полегшення укочування кінець заземлювача спеціальним чином видозмінюється (рис. 1) [1].

Заземлювачі довжиною від 10 до 15 м виконуються по секціям, довжина кожної із секцій складає 1,5 або 2 м. Робота розпочинається із забиття першого електроду, потім до нього під'єднується другий електрод і т.д.. З'єднання секцій виконується або за допомогою зварки (рис. 2), або згинчуванням. В останньому випадку секції заздалегідь забезпечуються різьбою. При з'єднанні секцій для забезпечення їх надійного електричного з'єднання всередину засверленого отвору закладається свинець. При забитті заземлювача свинець розтікається по поверхні, забезпечуючи механічне з'єднання та надійний контакт.

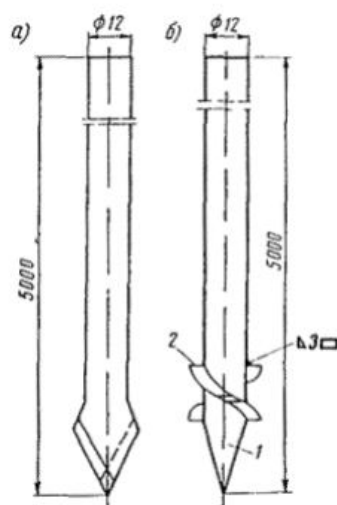


Рис. 1. Нижній кінець заземлювача при укочуванні глибинних заземлювачів

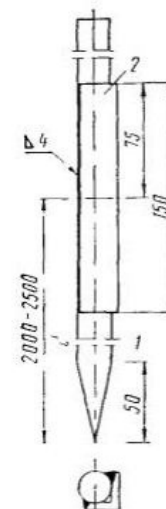


Рис. 2. Зварка секцій глибинного заземлювача за допомогою відрізка кутка

Метою роботи є визначення найбільш вигіднішого методу забезпечення заданого значення опору заземлення, шляхом використання глибинного заземлення та заземлення з використанням n – заземлювачів, з'єднаних між собою горизонтальними заземлювачами.

Опір розтіканню струму з вертикального заземлювача, який починається від поверхні землі при її двошаровій структурі, визначається по формулі [1]:

$$R_3 = \frac{\rho_1}{2\pi l} \cdot \frac{1+k}{1+k \cdot \left(\frac{2h_1}{l} - 1\right)} \cdot \left[\ln \frac{4l}{d} + \sum_{n=1}^{\infty} k^n \cdot \ln \frac{l+2h_1n}{l+2h_1 \cdot (n-1)} \right] \quad (1)$$

де R_3 – опір заземлювача, Ом;

$k = (\rho_2 - \rho_1) / (\rho_2 + \rho_1)$ - коефіцієнт неоднорідності;

ρ_1 – питомий опір верхнього шару ґрунту, Ом·м;

ρ_2 – питомий опір нижнього шару ґрунту, Ом·м;

h_1 – глибина верхнього шару, м;

l – довжина заземлювача, м;

d – діаметр заземлювача, м.

Формула (1) вельми складна, і при розрахунках доводиться виконувати розрахунок рядів. При орієнтованих розрахунках для визначення опору глибинного заземлювача можна користуватися наближеною формулою:

$$R_3 = \frac{1}{2\pi \cdot \left[\frac{h}{\rho_1} + \frac{(l-h)}{\rho_2} \right]} \cdot \ln \frac{4l}{d} \quad (2)$$

Формула (2) справедлива для глибинного заземлювача, виконаного у вигляді одного стержня.

Для розрахунку опору вертикального заземлювача, розміщеного в землі, яка має багатошарову структуру, другий і що залягають нижче шари землі зводяться до еквівалентного шару за допомогою формули (3) та методу послідовного зведення від двох нижніх реальних шарів до однорідного еквівалентного, а потім від цього еквівалентного і наступного реального до нового еквівалентного і т.д. При виборі трубчатого заземлювача приймається довжина одного заземлювача $l = 3$ м, діаметр $d = 0,0504$ м.

Величина ρ_e (Ом·м) визначається за виразом:

$$\rho_e = \frac{(1 + 4\tau \cos(\alpha) + \tau^2(4 - 2\cos(2\alpha)) + 4\tau^3 \cos(\alpha) + \tau^4) \cdot \rho_1}{1 - 2\tau^2 \cos(2\alpha) + \tau^4}, \quad (3)$$

$$\tau = N \cdot e^{-\sqrt{2} \cdot m \cdot h_1}, \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{180 \cdot \sqrt{2} \cdot m \cdot h_1}{\pi}, \quad (5)$$

$$m = \sqrt{314 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} / \rho_1}, \quad (6)$$

$$N = \frac{1 - \sqrt{\rho_1 / \rho_2}}{1 + \sqrt{\rho_1 / \rho_2}}, \quad (7)$$

де h_1 – глибина першого шару землі, м;

ρ_1 та ρ_2 – питомі опори першого та другого шарів землі відповідно, Ом·м;

α , N , m , τ – коефіцієнти еквівалентного питомого опору ґрунту.

Значення опору одного вертикального заземлювача в ґрунті із ρ_e визначається за виразом [1,2]:

$$R_{31} = \left[\left(\ln \left(\frac{2 \cdot l}{d} \right) + 0,5 \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot l + 7 \cdot h_1}{l + 7 \cdot h_1} \right) \right) \cdot \frac{\rho_e}{2 \cdot \pi \cdot l} \right] \cdot K_2, \quad (8)$$

де R_{31} – опір одного заземлювача, Ом;

l – довжина вертикального заземлювача, м;

d – діаметр трубчатого заземлювача, м;

h_1 – відстань від поверхні землі до верхнього кінця заземлювача, м;

ρ_e – еквівалентний питомий опір землі, Ом·м;

K_2 – сезонний коефіцієнт.

Оскільки опір заземлення R_3 не повинен перевищувати 20 Ом, при $\rho_i > 100$ Ом·м та $h_1 = 0,7$ м, то отриманий опір R_{31} на базі однієї труби не задовольняє нормі. Для забезпечення норми R_3 в роботі була визначена необхідна кількість заземлювачів, згідно за виразом [1]:

$$n = \frac{R_1}{R_{\text{заг.доп}} \cdot \eta_2}, \quad (9)$$

де R_1 – опір одного вертикального заземлювача, Ом;

$R_{\text{заг.доп}}$ – необхідний опір заземлення, заданий нормами, $R_{\text{заг.доп}} = 20$ Ом ;

$\eta_2 = 0,73$ – коефіцієнт використання, який залежить від конфігурації і розміщення заземлювачів [1].

Для з'єднання вертикальних заземлювачів в конструкцію заземлення, в роботі передбачено використання металеві смуги. При цьому опір смуги визначається за формулою [1]:

$$R_2 = \frac{K_1 \cdot \rho_e \cdot \ln \left(\frac{1,5 \cdot a}{\sqrt{b \cdot h_2}} \right)}{\pi \cdot a}, \quad (10)$$

де R_2 – опір смуги, Ом;

K_1 – коефіцієнт промерзання, який враховує сезонні коливання температури ґрунту [1];

ρ_e – еквівалентний питомий опір землі, Ом·м;

a – відстань між трубами вертикального заземлювача, м;

b – ширина полоси, яка з'єднує заземлювачі між собою, мм;

h_2 – глибина прокладки смуги, м.

В роботі прийняті наступні значення для параметрів: $K_1 = 1,8$; $a = 6$ м; $b = 10$ мм; $h_2 = 0,015$ м.

Повний опір заземлення розраховується за формулою [1]:

$$R_{\text{заг}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{\eta_1 \cdot R_2 + \eta_2 \cdot R_1 \cdot n}. \quad (11)$$

Структура ґрунту по трасі кабельної магістралі двохшарова. Згідно із проведеними дослідженнями глибина першого шару складає $h_1 = 0,7$ м, а другого шару $h_2 = \infty$. Питомий опір першого шару складає $\rho_1 = 110$ Ом·м, а другого - $\rho_2 = 60$ Ом·м. В роботі були проведені дослідження питомого опору землі та опору заземлення на прикладі вертикального заземлювача у двошаровій землі з $\rho_1 > \rho_2$ та навпаки $\rho_2 > \rho_1$.

Результати розрахунків $R_{\text{заг}}$ при вертикальному багатоелектродному заземленні за формулами (3) – (11) наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати розрахунку значень коефіцієнтів еквівалентного питомого опору ґрунту та $R_{\text{заг}}$ при сезонному коефіцієнті $K_2 = 1,62$

№	ρ_1 та ρ_2	N	m	α	τ	ρ_e , Ом·м	R_1 , Ом	n	R_2 , Ом	$R_{\text{заг}}$
1	$\rho_1 = 60$ Ом·м; $\rho_2 = 110$ Ом·м;	0,15	0,0026	0,145	0,15	103,68	46,48	4	34,94	10,29
2	$\rho_1 = 110$ Ом·м; $\rho_2 = 60$ Ом·м;	- 0,15	0,0019	0,107	- 0,15	50,17	22,49	2	16,9	8,74

Результати розрахунків R_3 згідно до (2) на основі глибинного заземлення при різних значеннях опору при глибинному заземленні при різних значеннях ρ_1 та ρ_2 будуть мати наступний вигляд:

$$\text{При } \rho_2 > \rho_1: R = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot \left[\frac{0,7}{60} + \frac{(10-0,7)}{110} \right]} \cdot \ln \frac{4 \cdot 10}{0,0504} = 11,045 \text{ Ом};$$

$$\text{При } \rho_1 > \rho_2: R = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot \left[\frac{0,7}{110} + \frac{(10-0,7)}{60} \right]} \cdot \ln \frac{4 \cdot 10}{0,0504} = 6,585 \text{ Ом}.$$

Як видно із проведених вище розрахунків, при багатоелектродному вертикальному заземленні для досягнення нормованого значення опору заземлення, необхідно використати від 2 до 4 електродів, при різних значеннях питомих опорів шарів ґрунту. В той час, коли при глибинному заземленні, норма опору досягається при використанні лише одного заземлювача.

Виконаємо техніко – економічне порівняння на основі виконаних вище розрахунків, аби порівняти, який із методів є більш економічно вигідним.

Результати кошторисно-фінансового розрахунку організації багатоелектродного заземлення

№ пп	Найменування робіт	Од. вимір.	К-ть	Вартість од., грн	Загальна варт, грн
1	2	3	4	5	6
Будівельні роботи					
1	Розробка траншеї для прокладання кабелю КСПП та горизонтальних заземлювачів ручним способом в ґрунтах 2-4 групи	100 м ³	0,101	3470	350,47
2	Розробка котловану для муфти ручним способом в ґрунтах 2-4 групи	100 м ³	0,048	4773	229,104
3	Розробка котловану для замірного стовпчика ручним способом в ґрунтах 2-4 групи	100 м ³	0,0006	5412	3,25
4	Засипання траншей та котлованів ручним способом	100 м ³	0,1496	1647	246,4
Монтажні роботи					
5	Встановлення щитка заземлення	шт	1	225	225
6	Заземлювач вертикальний	шт	4	156	624
7	Заземлювач горизонтальний, сталева смуга	100 м	0,24	3900	936
8	Установка замірного стовпчика	шт	1	248	248
9	Комплекс вимірювань	контур	1	65	65
10	Прокладка кабелю КСПП 1x4x1,2 в траншею	100 м	0,12	1327	159,24
11	Покриття кабелю прокладеного в землю цеглиною	100 м	0,12	3000	360
12	Кабель КСПП 1x4-1,2	км	0,012	9100	109,2
13	Монтаж ізолюючої муфти	шт	1	500	500
14	Всього				4055,652
15	Планові накопичення	%	8		324,4522
16	Всього				4380,105

Таблиця 3

Результати кошторисно-фінансового розрахунку організації глибинного заземлення

№ пп	Найменування робіт	Од. вимір.	К-ть	Вартість од., грн	Загальна варт, грн
1	2	3	4	5	6
Будівельні роботи					
1	Розробка траншеї для прокладання кабелю КСПП ручним способом в ґрунтах 2-4 групи	100 м ³	0,034	3470	117,98
2	Розробка котловану для муфти ручним способом в ґрунтах 2-4 групи	100 м ³	0,048	4773	229,104
3	Розробка котловану для замірного стовпчика ручним способом в ґрунтах 2-4 групи	100 м ³	0,0006	5412	3,25
4	Засипання траншей та котлованів ручним способом ґрунт 1- 3 групи	100 м ³	0,0826	1647	136,04
Монтажні роботи					
5	Встановлення щитка заземлення	шт	1	225	225
6	Заземлювач вертикальний	шт	1	156	156
7	Заземлювач горизонтальний, сталева смуга	100 м	-	3900	0
8	Установка замірного стовпчика	шт	1	248	248
9	Комплекс вимірювань	контур	1	65	65
10	Прокладка кабелю КСПП 1x4x1,2 в траншею	100 м	0,12	1327	159,24
11	Покриття кабелю прокладеного в землю цеглиною	100 м	0,12	3000	360
12	Кабель КСПП 1x4-1,2	км	0,012	9100	109,2
13	Монтаж ізолюючої муфти	шт	1	500	500
14	Всього				2308,814
15	Планові накопичення	%	8		184,71
16	Всього				2493,52

Як видно із виконаних розрахунків, організація глибинного заземлення є більш економічно вигіднішою порівняно з багатоелектродним заземленням.

Висновки

Дослідження, які виконані в роботі дозволили встановити:

1. Забезпечення норми опору заземлення в реальній структурі землі вимагає насамперед правильного виміру питомого опору та потужності кожного її шару.
2. Аналіз результатів розрахунку ρ_e у двошаровому ґрунті показав, що при $\rho_2 > \rho_1$ еквівалентний питомий опір землі буде більшим ніж при $\rho_1 > \rho_2$.
3. Останнє, для забезпечення норми заземлення необхідно використання більшого числа вертикальних заземлювачів при $\rho_2 > \rho_1$ ніж при $\rho_1 > \rho_2$, та при $h_1 = 0,7$ м.
4. Використання глибинних заземлювачів для забезпечення $R_{\text{заг}}$ дає можливість зменшити їх число в заземленні.
5. Можливість використання труб малої довжини – до 3 м в заземленні, чи труб довжиною більше 10 м в глибинному заземленні для забезпечення $R_{\text{заг}}$ повинна визначатися на основі техніко – економічного порівняння.
6. Техніко – економічне порівняння показало, що глибинне заземлення при довжині труби від 10 м та більше, є більш економічно вигідним ніж багатоелектродне заземлення.

Література

1. *О.В. Бондаренко, Д.В. Іоргачов.* Дослідження опорів заземлювальних пристроїв у неоднорідній землі // Методичне керівництво до лабораторної та навчально-дослідницької роботи студентів. – Одеса 2003.
2. КНД 45-136-99 Інструкція по захисту волоконно-оптичних ліній зв'язку від ударів блискавки та електромагнітних впливів. – [Вид. офіц.]. – К., 1999.

References

1. O.V. Bondarenko, D.V. Iorgachov. Doslidzhennya oporiv zazemlyuvalnyh pristroYiv u neodnorodny zemli // Metodichne kerivnitstvo do laboratornoYi ta navchalno-doslidnitskoYi roboti studentiv. – Odesa 2003.
2. KND 45-136-99 InstruktSya po zahistu volokonno-optichnih lInly zv'yazku vId udariv bliskavki ta elektromagnItnih vpliviv. – [Vid. offts.]. – K., 1999.

Рецензія/Peer review : 16.1.2017 р.

Надрукована/Printed :27.2.2017 р.

Стаття рецензована редакційною колегією