

## **ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ З КУРСУ «ОХОРОНА ПРАЦІ В ГАЛУЗІ»**

(для студентів електротехнічного факультету заочної форми навчання)

### **РОЗРАХУНОК ЗАХИСНОГО ЗАЗЕМЛЕННЯ**

#### **1. Загальні положення**

*Захисне заземлення* – це навмисне електричне з'єднання з землею або її еквівалентом металевих не струмоведучих частин, котрі можуть опинитись під напругою внаслідок порушення ізоляції електроустановки.

*Призначення захисного заземлення* – перетворення замикання на корпус у замикання на землю з метою зниження напруги дотику та напруги кроку до безпечних величин (вирівнювання потенціалів).

При наявності захисного заземлення опір між замкненою на корпус фазою та землею визначається, в основному, опором заземлювального пристрою  $R_z$ . Заземлювальний пристрій, як правило складається з металевих заземлювачів та зі з'єднувальних провідників.

Розрізняють два види захисного заземлення – виносне (або зосереджене) і контурне (або розподілене). При виносному заземленні заземлювачі винесені за межі майданчика, на котрому знаходиться електрообладнання. Завдяки цьому є можливість вибрати місце з найменшим опором ґрунту для розташування заземлювача. Заземлені корпуси знаходяться поза полем розтікання струму заземлення, тобто виносне заземлення захищає лише за рахунок малого опору пристрою заземлення.

Електроди контурного заземлювального пристрою розташовуються по контуру майданчика або приміщення, де знаходиться обладнання яке заземлюють, а також всередині майданчика або приміщення. Тут в будь-якій точці поверхні ґрунту в разі замикання на землю може виникати значний потенціал. Внаслідок цього різниця потенціалів між точками поверхні, які знаходяться всередині контуру, знижується і сила струму через тіло людини, що торкається корпусу, менша, ніж при виносному заземленні. При виконанні контурного заземлення, якщо необхідно також прокладають горизонтальні металеві стрічки (заземлювач у вигляді сітки), котрі додатково вирівнюють потенціали всередині контуру. Всередині приміщень вирівнювання потенціалів відбувається також за рахунок наявності металевих конструкцій, трубопроводів, кабелів та інших струмопровідних предметів, які розташовані в поверхневому шарі

грунту і зв'язані з мережею заземлення.

В середині будівель прокладають внутрішню магістраль заземлення вздовж стін, до котрої під'єднують паралельно заземлювані провідники від корпусів електрообладнання, котре підлягає заземленню. Послідовне включення обладнання, що заземлюється не допускається.

Існують штучні заземлювачі, призначені виключно для заземлення електрообладнання, і природні – струмопровідні предмети, котрі знаходяться в землі та комунікації іншого призначення.

Як природні заземлювачі можна використовувати:

- металеві конструкції та арматуру залізобетонних конструкцій, котрі контактують з землею;

- прокладені в землі водогінні труби та свинцеві оболонки кабелів;

- обсадні труби артезіанських свердловин та колодязів.

Забороняється використовувати, як природні заземлювачі трубопроводи з пожежовибухонебезпечними рідинами і газами, алюмінієві оболонки кабелів та алюмінієві провідники.

## **2. Методика й алгоритм розрахунку захисного заземлення**

Порядок проведення розрахунку наступний:

1. З'ясувати вихідні дані (додаток Е).

2. Визначити необхідний опір штучного заземлювача  $R_u$ , Ом, якщо передбачається використання також природного заземлювача  $R_u$ , за формулою:

$$R_u = \frac{R_e R_3}{R_e - R_3}, \text{ Ом}; \quad (1)$$

де  $R_e$  – опір розтіканню струму природних заземлювачів, Ом;

$R_3$  – розрахунковий нормований опір заземлювального пристрою (ЗП), Ом (додаток А).

При відсутності природних заземлювачів необхідний опір штучного заземлювача дорівнює розрахованому нормованому опору ЗП:  $R_u = R_3$ .

3. Визначити розрахунковий питомий опір ґрунту, для

вертикальних і горизонтальних електродів, за формулою:

$$\rho_{в(z)} = \rho_{вим} \cdot \Psi_{в(z)}, \text{ Ом} \cdot \text{м}; \quad (2)$$

де  $\rho_{в}, \rho_{г}$  – розрахунковий питомий опір ґрунту вертикальних і горизонтальних електродів, Ом·м;

$\rho_{вим}$  – питомий опір ґрунту, отриманий у результаті вимірів, Ом·м;

$\psi_{в}, \psi_{г}$  – коефіцієнти сезонності, для вертикальних і горизонтальних електродів, що враховують промерзання чи висихання ґрунту (додатки Г, Д)

4. Обчислити опір розтіканню струму одиночного вертикального заземлювача  $R_{в}$ , Ом. Для стрижневого заземлювача круглого перерізу, заглибленого в ґрунт (рисунок 1), розрахункова формула має вигляд:

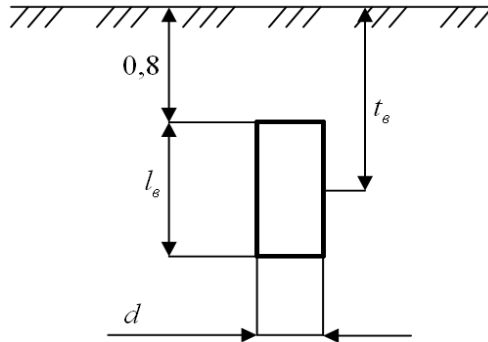


Рисунок 1 – Схема залягання стрижневого трубчастого заземлювача

$$R_{в} = \frac{\rho_{в}}{2 \cdot \pi \cdot l_{в}} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot l_{в}}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot t_{в} + l_{в}}{5 \cdot t_{в} - l_{в}} \right), \text{ Ом}; \quad (3)$$

де  $\rho$  – розрахунковий питомий опір ґрунту, Ом·м;

$l_{в}$  – довжина вертикального стрижня, м;

$d$  – діаметр перерізу стрижня, м;

$t_{в}$  – відстань від поверхні ґрунту до середини довжини вертикального стрижня, яка обчислюється за формулою:

$$t_{\epsilon} = 0,8 + \frac{1}{2} \cdot l_{\epsilon}, \text{ м.} \quad (4)$$

5. Розрахувати наближену (мінімальну) кількість вертикальних стрижнів

$$n' = \frac{R_{\epsilon}}{R_u}, \text{ шт;} \quad (5)$$

де  $R_{\epsilon}$  – опір розтікання струму одиночного вертикального заземлювача, Ом;

$R_u$  – необхідний опір штучного заземлювача, Ом.

Якщо виходити з розмірів контуру:

$$n = \frac{P}{a}, \text{ шт;} \quad (6)$$

де  $P$  – периметр прямокутника (приміщення), м. Який визначається за формулою:

$$P = 2 \cdot (L + B), \text{ м;} \quad (7)$$

$L$  – довжина приміщення, м;

$B$  – ширина приміщення, м;

$a$  – відстань між стрижнями, обумовлена зі співвідношення, м:

$$a = k \cdot l_{\epsilon}; \quad (8)$$

де  $l_{\epsilon}$  – довжина вертикального стрижня, м;

$k$  – коефіцієнт кратності, який дорівнює 1, 2, 3 (для заглиблених стаціонарних заземлювачів  $k = 1$ ).

Отриману кількість стрижнів округляють до більшого довідкового значення, але не менше  $n'$ .

6. Визначити довжину горизонтальної смуги при конфігурації групового заземлювача – контур:

$$l_z = 1,05 \cdot a \cdot n, \text{ м}; \quad (9)$$

де  $n$  – кількість вертикальних стрижнів;

$a$  – відстань між вертикальними стрижнями, м.

7. Обчислити опір розтіканню струму горизонтальної з'єднуючої смуги  $R_z$ , Ом. У випадку горизонтального смугового заземлювача (рисунок 2) розрахунок виконується за формулою:

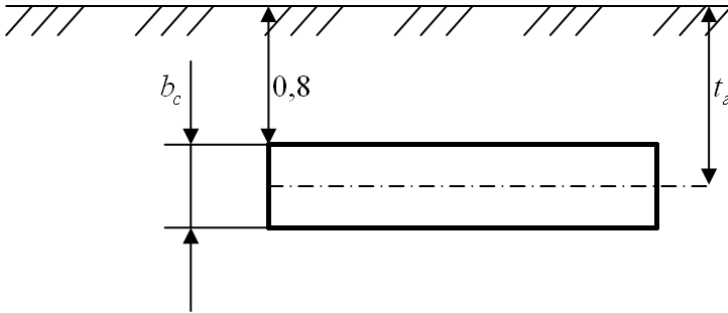


Рисунок 2 – Схема горизонтального смугового заземлювача

$$R_z = \frac{\rho_z}{2 \cdot \pi \cdot l_z} \cdot \ln \frac{2 \cdot l_z^2}{b_c \cdot t_z}, \text{ Ом}; \quad (10)$$

де  $\rho$  – розрахунковий питомий опір ґрунту, Ом·м;

$l_z$  – довжина горизонтальної смуги, м;

$b_c$  – ширина смуги, м;

$t_z$  – відстань від поверхні ґрунту до середини ширини горизонтальної смуги, яка обчислюється за формулою:

$$t_z = 0,8 + \frac{1}{2} b_c, \text{ м}. \quad (11)$$

8. Розрахувати еквівалентний опір розтіканню струму групового заземлювача.

$$R_{cp} = \frac{R_6 \cdot R_z}{R_6 \cdot \eta_z + R_z \cdot \eta_6 \cdot n}, \text{ Ом}; \quad (12)^*$$

де  $R_6$  – опір розтікання струму одиночного вертикального заземлювача, Ом;

$R_z$  – опір розтікання струму горизонтальної смуги, Ом;

$\eta_6, \eta_z$  – коефіцієнти використання вертикальних стрижнів і горизонтальної смуги, Ом (додаток Б, В);

$n$  – кількість вертикальних стрижнів.

9. Отриманий опір розтіканню струму групового заземлювача не повинен перевищувати необхідний опір, визначений у пункті 2.

$$R_{cp} \leq R_u. \quad (13)$$

---

\* Формулу 12 отримано шляхом підсумовування провідностей заземлювачів обох типів, оскільки вони працюють паралельно:

$$\frac{1}{R_{cp}} = \frac{1}{R_{cp\ c}} + \frac{1}{R_{cp\ z}} = \frac{n\eta_6}{R_6} + \frac{\eta_z}{R_z} = \frac{R_6\eta_z + R_z n\eta_6}{R_6 R_z}.$$

**Додаток А**

Допустимі значення опору захисного заземлення  
в електротехнічних установках

Характеристика установок	Найбільший допустимий опір заземлення, $\Omega$
Установки напругою вище 1000 В	
Захисне заземлення в установках з великими струмами замикання на землю ( $I_z > 500 \text{ А}$ )	0,5
Захисне заземлення в установках з малими струмами замикання на землю ( $I_z \leq 500 \text{ А}$ ):	
- заземлюючий пристрій одночасно використовується для установок напругою до 1000 В	$125 / I_z \leq 10$
- заземлюючий пристрій використовується тільки для установок напругою вище 1000 В	$250 / I_z \leq 10$
Установки напругою до 1000 В	
Захисне заземлення всіх установок	4

**Додаток Б**

Коефіцієнти використання  $\eta_e$  вертикальних електродів групового заземлювача (труб, куточків і т.п.) без урахування впливу смуги зв'язку

Кількість заземлювачів	Коефіцієнти використання $\eta_e$	Кількість заземлювачів	Коефіцієнти використання $\eta_e$
4	0,69	34	0,428
6	0,61	36	0,422
8	0,59	38	0,416
10	0,57	40	0,41
12	0,55	42	0,408
14	0,53	44	0,406
16	0,51	46	0,404
18	0,49	48	0,402
20	0,47	50	0,4
22	0,464	52	0,398
24	0,458	54	0,396
26	0,452	56	0,394
28	0,446	58	0,392
30	0,44	60	0,39
32	0,434		

**Додаток В**

Коефіцієнти використання  $\eta_e$  горизонтального смугового електрода, що з'єднує вертикальні електроди (труби, куточки і т.п.) групового заземлювача

Кількість вертикальних електродів	Коефіцієнти використання $\eta_e$	Кількість вертикальних електродів	Коефіцієнти використання $\eta_e$
4	0,45	34	0,235
6	0,4	36	0,23
8	0,37	38	0,225
10	0,34	40	0,22
12	0,326	42	0,218
14	0,312	44	0,216
16	0,298	46	0,214
18	0,284	48	0,212
20	0,27	50	0,21
22	0,265	52	0,208
24	0,26	54	0,206
26	0,255	56	0,204
28	0,25	58	0,202
30	0,245	60	0,2
32	0,24		

**Додаток Г**

Коефіцієнти сезонності  $\Psi$  для шару сезонних змін у багат шаровому ґрунті

Кліматична зона	Умовна товщина шару сезонних змін, м	Вологість землі під час вимірювань її опору		
		Підвищена	нормальна	мала
I	2,2	7,0	4,0	2,7
II	2,0	5,0	2,7	1,9
III	1,8	4,0	2,0	1,5
IV	1,6	2,5	1,4	1,1



Коефіцієнти сезонності  $\psi$  для однорідного ґрунту

Кліматична зона	Стан землі під час вимірювань її опору при вологості		
	підвищений	нормальний	малій
Вертикальний електрод довжиною 3 м			
I	1,9	1,7	1,5
II	1,7	1,5	1,3
III	1,5	1,3	1,2
IV	1,3	1,1	1,0
Вертикальний електрод довжиною 5 м			
I	1,5	1,4	1,3
II	1,4	1,3	1,2
III	1,3	1,2	1,1
IV	1,2	1,1	1,0
Горизонтальний електрод довжиною 10 м			
I	9,3	5,5	4,1
II	5,9	3,5	2,6
III	4,2	2,5	2,0
IV	2,5	1,5	1,1
Горизонтальний електрод довжиною 50 м			
I	7,2	4,5	3,6
II	4,8	3,0	2,4
III	3,2	2,0	1,6
IV	2,2	1,4	1,12

## Додаток Е

Перелік індивідуальних завдань до розрахунку захисного заземлення

№ п/п	$U, V$	Розмір приміщення, $м$		$R_{\epsilon}, Ом$	Параметри вертикально стрижня, $м$		Ширина смуги, $м$	$R_{вим}, Ом \cdot м$	Кліматична зона	Склад ґрунту	Вологість ґрунту
		$L$	$B$		$l_b$	$d$					
1	380	12	6	9	3	0,012	0,032	100	II	Однорідний	Нормальна
2	380	5	5	6	5	0,01	0,04	90	I	Однорідний	Нормальна
3	380	7	3	8	3	0,012	0,025	92	III	Однорідний	Нормальна
4	380	8	4	12	5	0,01	0,028	94	IV	Однорідний	Нормальна
5	380	12	7	10	3	0,014	0,03	96	I	Однорідний	Нормальна
6	380	14	10	16	5	0,016	0,034	98	II	Однорідний	Нормальна
7	380	18	5	18	3	0,018	0,036	102	III	Однорідний	Нормальна
8	380	6	5	6	5	0,01	0,038	104	IV	Однорідний	Нормальна
9	380	9	7	7	3	0,014	0,04	106	I	Однорідний	Нормальна
10	380	13	4	10	5	0,01	0,042	108	II	Однорідний	Нормальна
11	380	11	5	11	3	0,012	0,046	110	III	Однорідний	Нормальна
12	380	10	10	14	5	0,014	0,048	114	IV	Однорідний	Нормальна
13	380	16	14	9	3	0,016	0,035	118	I	Однорідний	Нормальна
14	380	13	12	17	5	0,018	0,045	120	II	Однорідний	Нормальна
15	380	30	12	20	3	0,01	0,04	124	II	Однорідний	Нормальна
16	380	22	16	—	5	0,012	0,025	126	IV	Однорідний	Нормальна
17	380	15	9	—	3	0,014	0,04	80	III	Однорідний	Нормальна
18	380	5	4	6	5	0,016	0,036	82	I	Однорідний	Нормальна
19	380	6	5	8	3	0,018	0,038	84	II	Однорідний	Нормальна
20	380	6	6	10	5	0,01	0,03	86	II	Однорідний	Нормальна
21	380	8	6	14	5	0,01	0,044	76	IV	Однорідний	Нормальна
22	380	11	6	13	3	0,012	0,046	78	I	Однорідний	Нормальна
23	380	13	8	18	5	0,014	0,032	130	III	Однорідний	Нормальна
24	380	19	8	—	3	0,016	0,035	132	IV	Однорідний	Мала
25	380	20	6	—	5	0,018	0,045	134	IV	Однорідний	Нормальна
26	380	18	18	10	3	0,01	0,048	136	I	Однорідний	Нормальна
27	380	14	12	14	5	0,012	0,05	140	II	Однорідний	Нормальна
28	380	15	14	12	3	0,01	0,025	142	III	Однорідний	Нормальна
29	380	13	11	18	5	0,012	0,028	144	IV	Однорідний	Нормальна
30	380	40	22	—	3	0,014	0,032	150	II	Однорідний	Нормальна
31	380	6	6	12	5	0,016	0,03	78	I	Однорідний	Нормальна
32	380	17	7	10	3	0,018	0,04	152	III	Однорідний	Нормальна

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Охрана труда в электроустановках. Под ред. Б.А. Князевского.- М.: Энергоатомиздат, 1985. – 376 с.
2. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник. – Вид. 3-є, перероб. і доп. – Львів: УАД, 2006. – 336 с.
3. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 376 с.
4. Долин П.А., Медведев В.Т., Корочков В.В. Электробезопасность. Задачник. Учеб. пособие / Под ред. проф В.Т. Медведева. – М.: Гардарики, 2003. – 215 с.
5. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В.М. та ін. Практикум із охорони праці. Навчальний посібник / За ред. к.т.н., доц. В.Ц. Жидецького. – Львів: Афіша, 2000. – 352 с.
6. ГОСТ 12.1.030-81 (2001) «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление».