

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

ФАКУЛЬТЕТ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Кафедра охорони праці та навколишнього середовища

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять

з дисципліни

«ЗАГАЛЬНА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА»

Харків 2025

Методичні вказівки до практичних занять розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри охорони праці та навколишнього середовища 23 травня 2025 р., протокол № 9.

Наведено завдання до практичних занять, методичні вказівки та довідкові дані до їх виконання. Ці завдання призначено для здобувачів вищої освіти спеціальності J 4 «Охорона праці» денної форми здобуття освіти.

Укладач

доц. Д. С. Козодой

Рецензент

проф. Ю. В. Буц

ЗМІСТ

Завдання до практичних занять.....	4
Завдання 1. Опрацювання нормативної бази з електробезпеки.....	4
Завдання 2. Опрацювання типів електричних мереж.....	4
Завдання 3. Класифікація приміщень за ступенем ураження електричним струмом.....	5
Завдання 4. Опрацювання груп електробезпеки для персоналу.....	6
Завдання 5. Навчання персоналу з електробезпеки.....	6
Завдання 6. Розрахунок сили струму, який проходить через тіло людини...	7
Завдання 7. Аналіз небезпеки однополюсного дотику людини до мережі трифазного змінного струму.....	9
Завдання 8. Опрацювання схем вмикання людини в електричну мережу..	10
Завдання 9. Розрахунок напруги дотику.....	11
Завдання 10. Опрацювання заходів захисту при нормальному режимі роботи електроустановок.....	13
Завдання 11. Розрахунок штучного заземлення.....	13
Завдання 12. Розрахунок захисного занулення.....	16
Завдання 13. Опрацювання індивідуальних заходів захисту від ураження електричним струмом.....	18
Список літератури.....	19
Додаток А Коефіцієнти використання $\eta_{од}$ вертикальних електродів групового заземлення.....	20
Додаток Б Коефіцієнти використання $\eta_{ум}$ горизонтального електрода, що з'єднує вертикальні електроди групового заземлювача.....	21
Додаток В Розрахункові повні опори Z_T масляних трансформаторів.....	22

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Завдання 1

Опрацювання нормативної бази з електробезпеки

1 Визначити та розташувати за ієрархічним принципом міжгалузеві нормативні документи з електробезпеки, що існують в Україні.

2 Визначити та навести нормативні документи з електробезпеки, що функціонують в галузі залізничного транспорту.

Завдання 2

Опрацювання типів електричних мереж

1 Виконати аналіз та навести за прикладом (рисунок 2.1) типові схеми електричних мереж, що використовуються на промислових та побутових об'єктах.

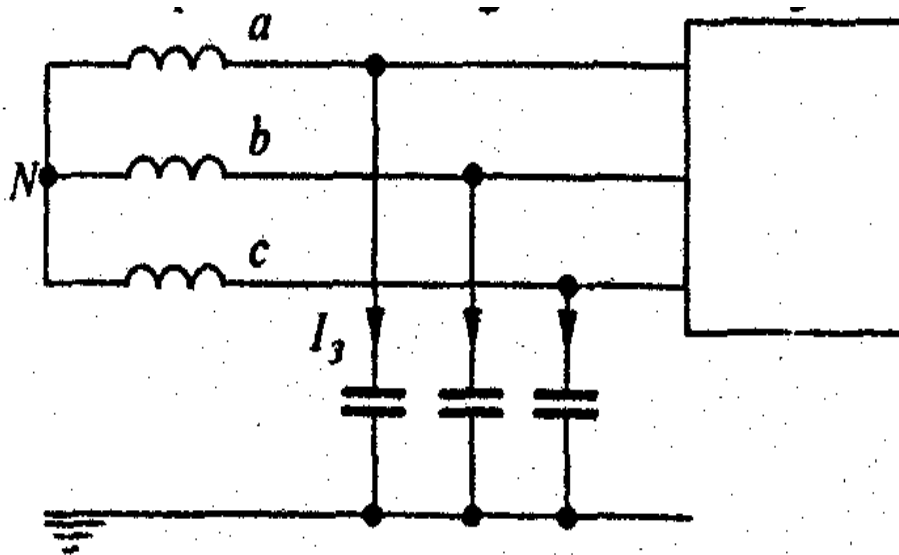


Рисунок 2.1 – Приклад схеми трифазної мережі

Завдання 3

Класифікація приміщень за ступенем ураження електричним струмом

Виконати аналіз та обґрунтувати класифікацію приміщення за ступенем ураження електричним струмом відповідно до варіанта завдання.

Таблиця 3.1

Варіант	Тип приміщення	Характеристика обладнання	Зовнішні фактори
1	навчальна лекційна аудиторія	електрообладнання відсутнє	відносна вологість 40 %, температура повітря 22 °С
2	лабораторія для випробувань електричного заземлення	випробувальні електричні стенди, 1 фаза, 220 Вольт	відносна вологість 40 %, температура повітря 22 °С, підлога залізобетонна
3	тягова трансформаторна підстанція на відкритому повітрі	трансформатори, роз'єднувачі, 3 фази, 6 кВольт	відкрите повітря, сітчасте огороження, відсутність підлоги (обладнання на землі)
4	навчальна аудиторія	мультимедійний проектор, 1 фаза, 220 Вольт	відносна вологість 80 %, температура повітря 22 °С
5	аккумуляторне відділення	зарядні пристрої, акумулятори, ванни для електроліту, 1 фаза, 220 Вольт	відносна вологість 70 %, температура повітря 25 °С, підлога залізобетонна, концентрація парів електроліту
6	кімната чергового по станції	персональний комп'ютер, пульт керування, відеодисплейні термінали, 1 фаза, 220 Вольт	відносна вологість 70 %, температура повітря 33 °С, підлога паркетна
7	цех шлифування	шлифувальні верстати, 3 фази, 380 Вольт	відносна вологість 40 %, температура повітря 25 °С, підлога залізобетонна, металевийпил
8	кухня станційної столової	електродухові шафи, електричні плити, 3 фази, 380 Вольт	відносна вологість 75 %, температура повітря 36 °С, підлога кафельна, жирові випаровування
9	пральня вагонного депо	пральні машини, сушільні шафи, 3 фази, 380 Вольт	відносна вологість 100 %, температура повітря 40 °С, підлога кафельна
0	кабінет начальника депо	персональний комп'ютер, оргтехніка, кондиціонер, 1 фаза, 220 Вольт	відносна вологість 40 %, температура повітря 22 °С, підлога паркетна

Завдання 4

Опрацювання груп електробезпеки для персоналу

Виконати аналіз та пояснити, яку групу з електробезпеки повинні мати працівники відповідно до варіанта завдання

Таблиця 4.1

Варіант	професія
1	оператор ПЕОМ
2	машиніст електровоза
3	черговий підстанції з напругою 6 кВ
4	прибиральник обчислювального центру
5	машиніст тепловоза
6	диспетчер залізничної станції
7	керівник оперативної бригади електромонтерів
8	електромонтер низковольтних мереж
9	оперативний працівник високовольтних мереж
0	провідник пасажирського вагона

Завдання 5

Навчання персоналу з електробезпеки

За результатами опрацювання нормативних актів надати розгорнуту відповідь на питання.

1 У яких випадках та ким проводять цільовий інструктаж при виконанні робіт з підвищеною електробезпекою?

2 Яка періодичність навчання та перевірки знань з присвоєнням відповідної групи з електробезпеки для таких категорій:

а) первинне навчання та перевірка знань усіх працівників до початку виконання роботи;

б) для працівників, які безпосередньо організовують та проводять роботи з оперативного обслуговування діючих електроустановок чи виконують у них налагоджувальні, електромонтажні, ремонтні, профілактичні випробування або експлуатують електроустановки у вибухонебезпечних, пожежонебезпечних зонах;

в) для адміністративно-технічних працівників, які не належать до попередньої групи, а також для працівників з охорони праці, допущених до інспектування електроустановок.

3 Поясніть у чому відмінність стажування на робочому місці від дублювання?

Завдання 6

Розрахунок сили струму, який проходить через тіло людини

Визначити силу струму, що проходить через тіло людини при однополюсному та двополюсному контакті з трифазною мережею змінного струма частотою 50 Гц з глухозаземленою нейтраллю. Опір тіла людини $R_{\text{л}}$ при розрахунках прийняти 1000 Ом.

Вихідні дані для розрахунку прийняти за варіантом (таблиця 6.1).

Таблиця 6.1

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Лінійна напруга мережі, $U_{\text{л}}$, В	380	600	220	400	220	660	1000	380	220	400
Опір заземлення нейтралі, R_3 , Ом	0,5	4	4	0,5	6	1	2	0,5	4	4
Опір підлоги, $R_{\text{п}}$, кОм	30	3	0,3	10	1,5	0,8	1500	50	4	100
Опір взуття, $R_{\text{в}}$, Ом	200	50	150	100	500	150	100	50	25	100

Вказівки до розв'язання задачі

1 При однополюсному контакті можливі два варіанти: людина доторкнулася до нульового провідника і людина доторкнулася до фазного провідника.

У першому випадку струм через тіло людини не проходить, тому такий контакт є безпечним для людини. У другому випадку струм через тіло людини визначають за формулою

$$I_{\text{люд}} = \frac{U_{\phi}}{R_3 + R_{\text{п}} + R_{\text{в}} + R_{\text{л}}}, \quad (6.1)$$

де $I_{\text{люд}}$ – струм, що проходить через тіло людини, А;

$R_{\text{л}}$ – опір тіла людини, $R_{\text{л}} = 1000$ Ом;

R_3 – опір заземлення нейтралі, Ом;

$R_{\text{п}}$ – опір підлоги, Ом;

$R_{\text{в}}$ – опір взуття, Ом;

U_{ϕ} – фазна напруга мережі, $U_{\phi} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}}$, В.

2 При двополюсному контакті також можливі два варіанти: людина доторкнулася до нульового провідника та фазного провідника, людина доторкнулася до двох фазних провідників. У першому випадку струм через тіло людини знаходять за формулою, А,

$$I_{\text{люд}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{л}}} . \quad (6.2)$$

У другому випадку струм через тіло людини знаходять за формулою, А,

$$I_{\text{люд}} = \frac{U_{\text{л}}}{R_{\text{л}}} . \quad (6.3)$$

де $U_{\text{л}}$ – лінійна напруга мережі, В.

3 Зробити висновки про небезпеку ураження людини струмом для кожного з розглянутих випадків.

Завдання 7

Аналіз небезпеки однополюсного дотику людини до мережі трифазного змінного струму

Дати висновок щодо небезпеки однополюсного дотику людини до мережі трифазного змінного струму, частотою 50 Гц та ізольованою нейтраллю. Відомо, що людина знаходиться на землі. Коефіцієнтами дотику α_1 та α_2 знехтувати.

Вихідні дані для розрахунку прийняти за варіантом (таблиця 7.1).

Таблиця 7.1

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Лінійна напруга мережі, $U_{\text{л}}$, В	380	600	220	400	220	660	1000	380	220	400
Опір ізоляції фаз, R_3 , кОм	50	40	40	60	60	100	20	100	50	40

Вказівки до розв'язання задачі

1 Струм, що проходить крізь тіло людини, визначаємо за формулою

$$I_{\text{л}} = \frac{3U_{\phi}}{3R_{\text{л}} + R_3}, \quad (7.1)$$

де R_3 – опір ізоляції фаз, Ом;

$R_{\text{л}}$ – опір тіла людини, Ом.

2 Зробити висновки про наслідки ураження електричним струмом.

Завдання 8

Опрацювання схем вмикання людини в електричну мережу

За результатами опрацювання теоретичного матеріалу надати розгорнуту відповідь на питання.

1 Які схеми вмикання людини в електричну мережу можуть виникнути?

2 Яка найбільш небезпечна схема вмикання людини в електричну мережу і чому?

3 Як відбувається розтікання струму при замиканні на землю?

4 Що таке напруга кроку і в чому її небезпека?

5 Що таке напруга дотику?

Завдання 9

Розрахунок напруги дотику

Людина доторкнулась до обірваного проводу повітряної лінії, який лежить на землі і знаходиться під напругою. Визначити напругу дотику U_d , якщо питомий опір ґрунту $\rho = 150 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, опір тіла людини $R_{\text{л}} = 1000 \text{ Ом}$. Вихідні дані для розрахунку прийняти за варіантом (таблиця 9.1).

Таблиця 9.1

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Довжина ділянки проводу, який лежить на землі, L , м	6	4	2	8	10	3	5	7	9	12
Відстань людини до ділянки, L_1 , м	3	4	4	1	6	1	2	5	4	3
Перетин проводу, S , мм^2	110	90	100	110	90	100	110	90	110	100
Струм замикання на землю I_3 , А	20	50	30	40	50	60	75	50	25	50

Вказівки до розв'язання задачі

1 Визначимо потенціал проводу

$$\varphi_3 = \frac{I_3 \cdot \rho}{\pi \cdot L} \cdot \ln \frac{2L}{d}, \quad (9.1)$$

де $d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}$ – діаметр проводу, мм;

L – довжина ділянки проводу, який лежить на землі, м;

I_3 – струм замикання на землю, А.

2 Знаходимо відстань від середини проводу до місця, де стоїть людина

$$x = \frac{L}{2} + L_1, \quad (9.2)$$

де L_1 – відстань людини до ділянки, м.

3 Знаходимо коефіцієнт напруги дотику a_1

$$a_1 = 1 - \frac{\ln(2x + L) - \ln(2x - L)}{2 \ln(2L) - 2 \ln d}. \quad (9.3)$$

4 Знаходимо коефіцієнт напруги дотику a_2

$$a_2 = \frac{1}{1 + \frac{\rho}{4DR_{\text{л}}}}, \quad (9.4)$$

де D – еквівалентний діаметр площі підошви людини $0,17 \text{ м}^2$;

5 Знаходимо напругу дотику

$$U_{\text{д}} = \varphi_3 \alpha_1 \alpha_2. \quad (9.5)$$

6 Зробити висновки щодо небезпеки для людини.

Завдання 10

Опрацювання заходів захисту при нормальному режимі роботи електроустановок

Виконати аналіз та надати обґрунтовану відповідь на питання.

- 1 Які види ізоляції струмопровідних частин існують?
- 2 Наведіть основні попереджувальні знаки з електробезпеки.
- 3 В чому сутність електричного розділення мереж?
- 4 Як реалізується та в чому принцип захисту вирівнювання потенціалів?

Завдання 11

Розрахунок штучного заземлення

Розрахувати штучне захисне заземлення для електромеханічного цеху. Електропостачання цеху здійснюється трифазною мережею з ізолюваною нейтраллю від силового трансформатора потужністю $P = 150 \text{ кВ А}$.

Вихідні дані для розрахунку прийняти за варіантом (таблиця 11.1).

Таблиця 11.1

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Напруга мережі, В	380/ 220	220/ 127	380/ 220	220/ 127	380/ 220	220/ 127	380/ 220	220/ 127	380/ 220	220/ 127
Вид ґрунту	Пісок	Глина	Чорнозем	Супісок	Пісок	Глина	Супісок	Пісок	Чорнозем	Глина
Питомий опір ґрунту, одержаний при вимірюванні, $\rho_{\text{вим}}$, Ом•см	$3,5 \cdot 10^4$	$0,7 \cdot 10^4$	$0,4 \cdot 10^4$	$2,7 \cdot 10^4$	$4,8 \cdot 10^4$	$0,5 \cdot 10^4$	$0,5 \cdot 10^4$	$3,5 \cdot 10^4$	$0,7 \cdot 10^4$	$0,4 \cdot 10^4$
Стан ґрунту під час заміру	Підвищеної вологості	Малої вологості	Нормальної вологості	Нормальної вологості	Малої вологості	Вологий	Нормальної вологості	Малої вологості	Малої вологості	Підвищеної вологості
Довжина вертикального електрода, l , см	300	280	270	250	260	270	280	300	180	270
Глибина розташування верхнього кінця вертикального електрода, t , см	80	90	80	70	80	70	80	70	80	70
Ширина об'єднувальної сталеної смуги, b , см	4	6	6	4	5	4	3	4	5	6

Вказівки до розв'язання задачі

1 Прийняти нормовану величину опору заземлювального пристрою $R_3 = 4$ Ом.

2 Знайти розрахункове значення питомого опору ґрунту в місці улаштування заземлення для вертикального електрода, Ом/м,

$$\rho_{\text{роз}} = \varphi \cdot \rho_{\text{вим}}, \quad (11.1)$$

де $\rho_{вим}$ – питомий опір ґрунту, одержаний при вимірюванні;

φ – коефіцієнт, що враховує стан ґрунту.

Для поглиблених електродів:

$\varphi = 2.0$ для вологого ґрунту;

$\varphi = 1.5$ для ґрунту середньої вологості;

$\varphi = 1.4$ для сухого ґрунту.

3 Визначити опір одного запропонованого вертикального електрода за формулою, Ом,

$$R_{од.} = \frac{\rho_{роз}}{2 \cdot \pi \cdot l} \left(\ln \frac{2,1 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4,2 \cdot H + l}{4,2H - l} \right), \quad (11.2)$$

де l – довжина вертикального електрода, м;

d – діаметр вертикального електрода, прийняти 5 см;

$H = \frac{1}{2}l + t$ – глибина закладення електрода, м.

4 Визначити кількість вертикальних електродів за формулою, шт.,

$$n = \frac{R_{од.}}{R_3}. \quad (11.3)$$

5 Намітити ескізу схему розміщення складного заземлення з урахуванням відношення $\frac{a}{l}$ (відношення відстані між заземлювачами і їхньою довжиною).

6 Залежно від кількості електродів n , відношення $\frac{a}{l}$ і розміщення електродів в ряд чи по контуру за додатками А і Б визначаємо коефіцієнти використання стержневих електродів та об'єднуючої штаби – $\eta_{од}$ та $\eta_{ум}$.

7 Визначаємо опір розтіканню струму горизонтальної об'єднуючої штаби, Ом,

$$R_{ум} = \frac{\rho_{роз}}{2 \cdot \pi \cdot l_{ум}} \cdot \ln \frac{2l_{ум}^2}{b \cdot H}, \quad (11.4)$$

де $l_{ум}$ – довжина об'єднуючої горизонтальної штаби, м, $l_{ум} = (n-1)a$;

b – ширина об'єднуючої горизонтальної штаби, м.

8 Визначаємо фактичне значення опору розтікання струму штучного заземлення, Ом,

$$R = \frac{R_{од} \cdot R_{ум}}{R_{од} \cdot \eta_{ум} + R_{ум} \cdot \eta_{од} \cdot n}. \quad (11.5)$$

Якщо $R \leq R_3$, то розрахунок виконано правильно.

Завдання 12

Розрахунок захисного занулення

Розрахувати систему занулення при потужності трансформатора P_T . З'єднання обмоток трансформатора – зіркою. $U_{\phi} = 380$ В. Матеріал фазного проводу – мідь, $L_{\phi} = 20$ м, $S_{\phi} = 5$ мм², матеріал нульового проводу – алюміній, $L_H = 20$ м, $S_H = 5$ мм². Зовнішній індуктивний опір петлі фаза – нуль $X_3 = 1$ Ом. Допустима напруга дотику $U_{доп} = 42$ В. Номінальний струм спрацьовування автомата $I_H = 100$ А.

Вихідні дані для розрахунку прийняти за варіантом (таблиця 12.1).

Таблиця 12.1

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Потужність трансформатора Р _Т , кВА	100	25	40	63	160	250	400	630	1000	130

Вказівки до розв'язання задачі

1 Визначаємо струм однофазного короткого замикання

$$I_K = \frac{U_\phi}{\frac{Z_T}{3} + \sqrt{(R_\phi + R_H)^2 + X_3^2}}, \quad (12.1)$$

де Z_T – опір обмотки трансформатора (додаток В);

X_3 – зовнішній індуктивний опір петлі фаза – нуль, Ом;

R_ϕ – активний опір фазного проводу, Ом;

R_H – активний опір нульового проводу, Ом.

2 Визначаємо активні опори фазного та нульового проводів

$$R_\phi = r_\phi \frac{l_\phi}{S_\phi}; \quad (12.2)$$

$$R_H = r_n \frac{l_H}{S_H}, \quad (12.3)$$

де r_ϕ – питомий опір фазного проводу, для міді 0,018 Ом•мм²/м;

r_n – питомий опір нульового проводу, для алюмінію 0,028 Ом•мм²/м.

3 Визначаємо розрахункову кратність струму замикання

$$K = \frac{I_K}{I_H}. \quad (12.4)$$

Оскільки допустимий коефіцієнт кратності струму короткого замикання для автомата $K_{\partial}=1,25$, то мають виконуватися умови $K \geq K_{\partial}$.

4 Визначаємо максимальну напругу на корпусі електроустановки

$$U_{K.MAX} = I_K \cdot R_H. \quad (12.5)$$

5 Перевіряємо виконання умови $U_{K.MAX} \leq U_{доп}$.

Якщо умови не виконуються, необхідно змінити конструкцію.

Завдання 13

Опрацювання індивідуальних заходів захисту від ураження електричним струмом

Відповідно до варіанта (таблиця 13.1) надати розгорнуту відповідь на питання.

1 Вказати основні та додаткові індивідуальні заходи захисту від ураження електричним струмом, які необхідно застосувати при роботі з електрообладнанням.

2 Вказати терміни випробувань для кожного заходу захисту, які були визначені.

Таблиця 13.1

Варіант	Робоча напруга, В
1	220
2	380
3	3000
4	6000
5	127
6	10000
7	220
8	600
9	1200
0	800

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Козодой Д. С. Електробезпека: конспект лекцій з дисципліни «Загальна електротехніка та електробезпека». Харків: УкрДУЗТ, 2020. 102 с.

2 Козодой Д. С., Костиркін О. В., Кисельова С. О., Козодой Н. В. Охорона праці на залізничному транспорті: навч. посіб. Харків: УкрДУЗТ, 2020. 124 с.

3 Козодой Д. С. Розрахунок заходів захисту від шкідливих та небезпечних факторів на виробництві: метод. вказівки та завдання до контрольних робіт з дисципліни «Охорона праці в галузі». Харків: УкрДУЗТ, 2015. 51 с.

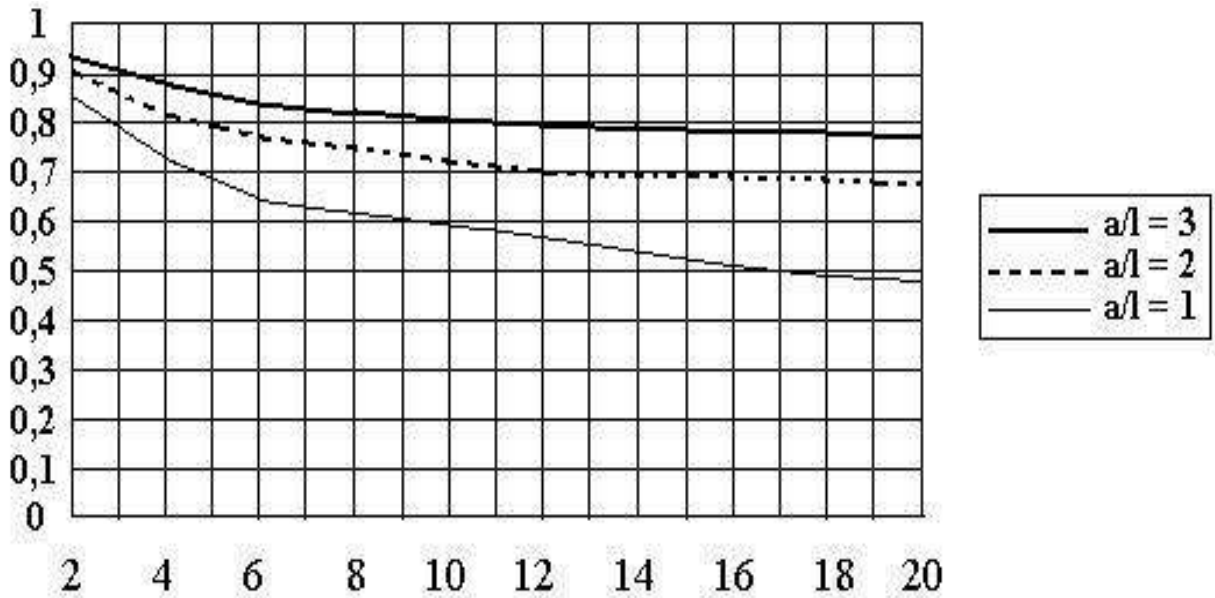
4 Козодой Д. С. Методи розрахунку засобів захисту від небезпечних та шкідливих виробничих факторів: метод. вказівки та завдання до практ. занять з дисципліни «Цивільний захист та охорона праці в галузі». Харків: УкрДУЗТ, 2017. 51 с.

ДОДАТОК А

(довідковий)

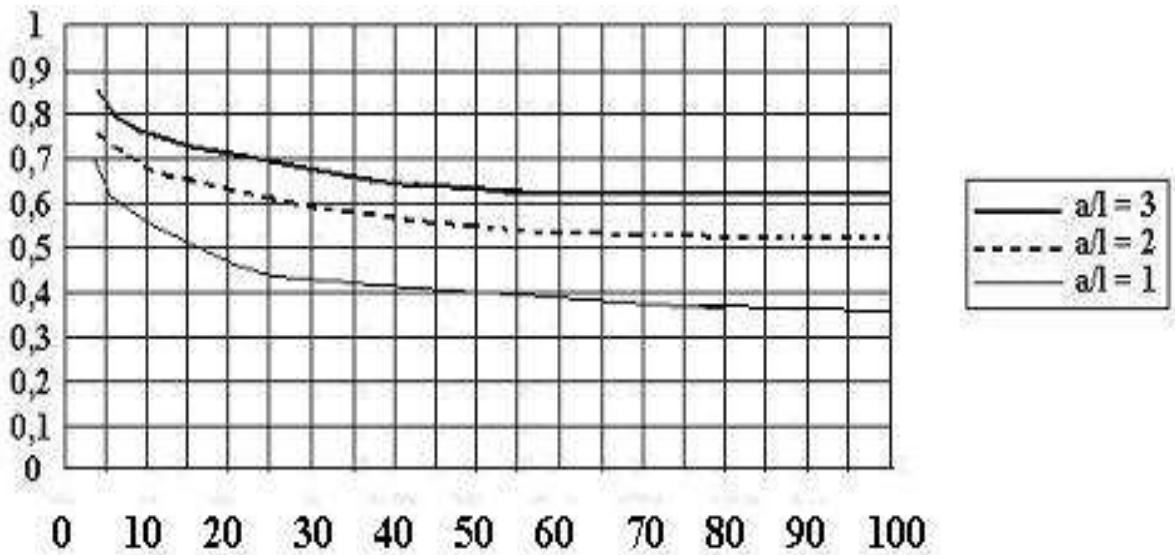
Коефіцієнти використання η_{od} вертикальних електродів групового заземлення

Електроди розміщені в ряд



Кількість вертикальних електродів

Електроди розміщені по контуру



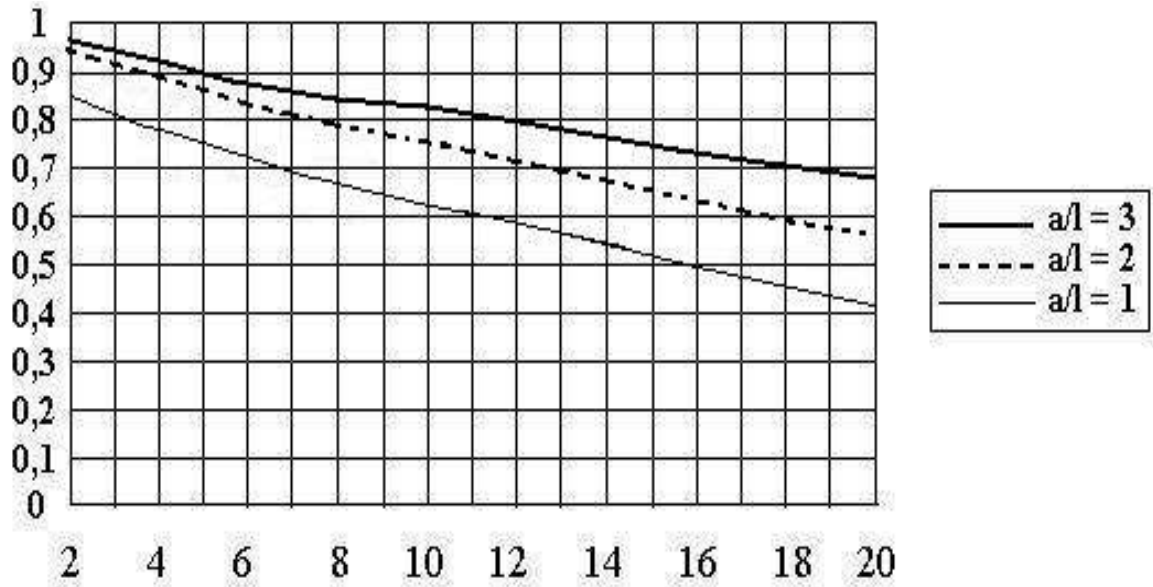
Кількість вертикальних електродів

ДОДАТОК Б

(довідковий)

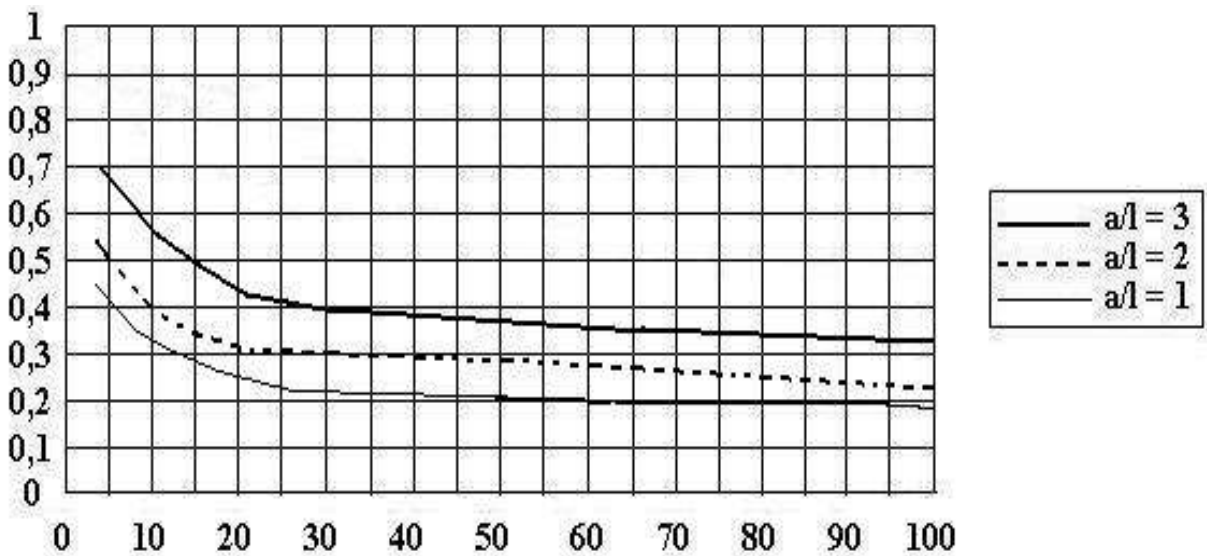
Коефіцієнти використання $\eta_{\text{вир}}$ горизонтального електрода,
що з'єднує вертикальні електроди групового заземлювача

Вертикальні електроди розміщені в ряд



Кількість вертикальних електродів

Вертикальні електроди розміщені по контуру



Кількість вертикальних електродів

ДОДАТОК В

(довідковий)

Розрахункові повні опори Z_T масляних трансформаторів

Потужність трансформатора	Z_T , Ом	
	схема з'єднання зіркою 	схема з'єднання трикутником Δ
25	3,11	0,906
40	1,949	0,562
63	1,237	0,36
100	0,799	0,226
160	0,487	0,141
250	0,312	0,09
400	0,195	0,056
630	0,129	0,042
1000	0,081	0,027

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять

з дисципліни

«ЗАГАЛЬНА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА»

Відповідальний за випуск Козодой Д. С.

Редактор Ібрагімова Н. В.

Підписано до друку 09.06.2025 р.

Умовн. друк. арк. 1,0. Тираж . Замовлення № .

Видавець та виготовлювач Український державний університет залізничного
транспорту,

61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.