

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Кафедра охорони праці, промислової та цивільної безпеки

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ І ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ ЗА
РОЗДІЛОМ «ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА»
З ДИСЦИПЛІНИ «ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ»

Для студентів енергетичних спеціальностей

Київ 2018

Методичні вказівки до виконання лабораторних і практичних занять з електробезпеки
з дисципліни «Охорона праці та цивільний захист»
для студентів енергетичних спеціальностей за освітньо-кваліфікаційним рівнем «бакалавр»
/ Укл.: Л. Д. Третьякова., Луц Т.Є. – К.: НТУУ «КПІ», ІЕЕ, 2018. – 77 с.

Гриф «Рекомендовано радою ІЕЕ «КПІ». Протокол № 2 від 26.09.2018.

Укладачі Л. Д. Третьякова, Т.Є. Луц

Відповідальний редактор І.Д. Прокопенко

Рецензент: В.Ф. Находов

Зміст

ВСТУП	4
Лабораторна робота 1	5
Визначення напруги прямого дотику і напруги непрямого дотику в електроустановках	5
Лабораторна робота 2	17
Визначення напруги кроку в електроустановках	17
Лабораторна робота 3	27
Вибір і дослідження ефективності захисного заземлення електроустановок напругою до 1 000 В.....	27
Лабораторна робота 4	43
Організація безпечної експлуатації електроустановок.....	43
Практичне завдання	65
Способи побудови і методи розрахунку захисного заземлення електроустановок напругою більш як 1 000 В.....	65

ВСТУП

Мета виконання лабораторних і практично-розрахункових завдань на заняттях з дисципліни “Охорона праці та цивільний захист” – це поглиблене вивчення лекційного матеріалу з питань реалізації заходів з електробезпеки діючих промислових електроустановок усіх рівнів напруги, надбання практичних навичок у роботі з нормативними документами та довідковими джерел, засвоєння заходів і засобів з безпечної експлуатації усіх видів діючих електроустановок.

На лабораторній роботі кожний студент виконує натурні дослідження на лабораторних стендах та отримує індивідуальне завдання, яке дає можливість перевіряти результати вимірювань і оцінити ефективність способів побудови основних захисних заходів промислових електроустановок. Розроблені методичні вказівки передбачають виконання п'яти окремих лабораторних і практично-розрахункових завдань за такими темами:

1. Визначення напруги прямого дотику і напруги непрямого дотику в електроустановках
2. Визначення напруги кроку в електроустановках.
3. Вибір і дослідження ефективності захисного заземлення електроустановок напругою до 1 000 В.
4. Організація безпечної експлуатації електроустановок.
5. Способи побудови і методи розрахунку захисного заземлення електроустановок напругою більш як 1 000 В.

Кожна лабораторна робота містить:

- перелік завдань досліджень;
- назви, скорочення і визначення теоретичних положень за темою;
- базові теоретичні положення;
- завдання на виконання роботи ;
- послідовність виконання роботи;
- контрольні запитання;
- перелік літературних джерел.

Автори висловлюють щире подяку рецензенту – доценту Полукарову О.І. за корисні поради і зауваження, які враховано авторами у ході роботи, а також співробітникам кафедри охорони праці, промислової та цивільної безпеки за попередню розробку лабораторних стендів.

Лабораторна робота 1

Визначення напруги прямого дотику і напруги непрямого дотику в електроустановках

Мета заняття: вивчення теоретичних положень, експериментальних і розрахункових способів визначення напруги прямого дотику і напруги непрямого дотику в електроустановках.

Завдання дослідження

1. Вивчення теоретичних положень щодо умов виникнення і визначення напруги непрямого дотику і кроку.
2. Вивчення технічних заходів зменшення напруги непрямого дотику і кроку
3. Дослідження впливу активного опору витoku та ємності мережі на величину струму, який протікає через людину, і напруги прямого дотику.
4. Розрахунок струму, який може протікати через тіло людини у разі дотику до струмовідних частин електроустановок.
5. Розрахунок струму, який може протікати через тіло людини у разі дотику до струмопровідних частин електроустановок.

Основні поняття і визначення

Таблиця 1. Назва, скорочення і визначення теоретичних положень з охорони праці

Назва, скорочення	Визначення
Електроустановка (ЕУ)	Енергетична установка, призначена до виробництва, перетворення, передавання, розподілення чи споживання електроенергії
Електроустановка діюча	ЕУ або її ділянка, які перебувають під робочою чи наведеною напругою, або ЕУ, на які напругу можна подати через вмикання комутаційних апаратів, а також ПЛ, яка має перетинання з діючою ПЛ
Електрообладнання (ЕО)	Пристрої, у яких: – виробляється, трансформується, перетворюється, розподіляється чи споживається електроенергія; – комутаційні апарати у розподільчих пристроях електроустановок; – усі види захисту електроустановок
Відкрита електроустановка (ВЕУ)	Електрична установка, розміщена просто неба
Розподільча	Електроустановка, призначена для приймання та

установка (РУ)	розподілення електричної енергії однієї величини напруги, яка містить: – комутаційні апарати та збірні шини; – з'єднані секції шин; – пристрої керування і захисту
Закрита розподільча установка (ЗРУ)	Електрична розподільча установка, розміщена в будівлі
Кабельна лінія електропередавання (КЛ)	Лінія електропередавання, яка сполучена з одного чи декількох кабелів, прокладених безпосередньо в землі, кабельних каналах, трубах, на кабельних конструкціях
Комплектна розподільча установка КРУ (КРУЗ)	РУ, яка укомплектована певним ЕО, і яку поставляють складеною чи підготовленою до складання вигляді для внутрішнього або зовнішнього установа
Комплектна трансформаторна підстанція (КТП)	Підстанція, яка укомплектована трансформатором та іншим ЕО, і яку поставляють у складеному чи підготовленому до складання вигляді
Повітряна лінія електропередавання (ПЛ)	Лінія електропередавання, проводи якої підтримуються за допомогою опор та ізоляторів. Початком та кінцем ПЛ є лінійні портали або лінійні вводи ВРУ, а для відгалужень – відгалужувальна опора та лінійний портал або лінійний ввід ВРУ. До ПЛ належать також натяжні ізолюючі підвіски, встановлені на лінійних порталах з боку ПЛ, а також усі затискачі, закріплені на проводах ПЛ.
Повітряна лінія зв'язку (ПЛЗ)	Повітряна лінія, призначена до передачі технологічної інформації
Повітряна лінія під наведеною напругою	ПЛ усіх класів напруг. ПЛЗ, які розташовано за всією довжиною або на окремих ділянках загальною довжиною не менш як 2 км, на відстані від осі іншої ПЛ: – 110 кВ 100 м; – 154, 220 кВ 150 м; – 330, 400, 500 кВ 200 м; – 750 кВ 250 м
Зона сильної дії наведеної напруги	ПЛ (ділянка ПЛ) під наведеною напругою, на якій в разі заземлення в РУ і на місці робіт значення наведеної напруги перевищує 42 В під час максимального робочого навантаження ПЛ.
Фазна напруга ЕМ U_{ϕ}	Напруга між лінійним і нейтральним проводами
Лінійна напруга $U_{\text{л}}$	Напруга між двома лінійними проводами
Струмовідна частина	Частина електроустановки, яка у робочому режимі

ЕУ	перебуває під напругою
Струмопровідна (Неструмовідна) частина ЕУ	Струмопровідна частина електроустановки, яка у робочому режимі не перебуває під напругою, але може опинитись під напругою в аварійних режимах роботи (наприклад, металевий корпус електричної машини)
Напруга дотику	Напруга, яка виникає на тілі людини, у разі одночасного дотику до двох струмовідних або струмопровідних частин ЕУ
Функціональне (робоче) заземлення R_{ϕ}	Функціональне (робоче) заземлення – це заземлення нейтральної або середньої точки джерела живлення (ДЖ) за умовами експлуатації електромереж (ЕМ) або з метою забезпечення електромагнітної сумісності.
Прямий дотик	Електричний контакт людей зі струмовідними частинами ЕУ, що перебувають під напругою, або наближення до них на небезпечну відстань;
Непрямий дотик	Електричний контакт людей з відкритою струмопровідною частиною (найчастіше – корпусом) ЕУ, яка опинилася під напругою внаслідок пошкодження ізоляції
РЕ-провідник	Захисний провідник в ЕУ напругою до 1 кВ, призначений для захисту від ураження електричним струмом у разі непрямого дотику
PEN-провідник	Провідник в ЕУ напругою до 1 кВ, який поєднує функції нейтрального (N-) і захисного (PE-) провідників
Опір людини	Під час включення людини в електричне коло опір людини визначається сумою опорів тіла людини, одягу, взуття та опорної поверхні ніг на ґрунті.
Опір тіла людини $R_{\text{д}}$	Нелінійний опір, який має активно-ємний характер. У розрахунках приймають $R_{\text{д}} = (1000 \dots 1500) \text{ Ом}$
Шлях струму	Можливі шляхи протікання струму через тіло людини називаються петлями струму: “рука-рука”, “голова-ноги”, “рука-ноги”. Особливо небезпечними є петлі “голова-руки” і “голова-ноги”.
Електроізолювальний комплект	Електроізолювальний комплект складається з діелектричного захисного одягу, рукавичок, діелектричної каски, який використовує працівник під час робіт в діючих ЕУ.
Опір електроізолювального комплексу R_{30}	Опір електроізолювального комплексу включають у розрахунок, у разі якщо працівник може торкнутися ЕУ частиною тіла, яку вкрито таким комплектом

	(рука, голова, плече тощо). Опір одягу залежить від виду матеріалу, його товщини і вологості. У розрахунках приймають: R_{30} сухого одягу (3...5) кОм; вологого – до 1 кОм.
Електроізолювальне захисне взуття	Взуття, яке використовує працівник під час робіт в діючих ЕУ.
Опір захисного взуття $R_{вз}$	Опір підошви взуття у розрахунках приймають: $R_{вз}$ сухого взуття (6...8) кОм; вологого – до 1 кОм.
Опір поверхні ніг у приміщенні R_n	Опір підлоги, на якій стоїть працівник. R_n дерев'яної підлоги приймають (3...5) кОм, цементної до 1 кОм
Опір поверхні ніг назовні	Опір поверхні ґрунту, яка якому знаходиться працівник. Опір на ґрунті залежить від виду, вологості і розміщення ніг на ґрунті та визначається залежностями: – однієї ноги – $r_{гр.1} = 3,1 \rho$; – двох ніг, "включених паралельно" і розміщених поряд – $r_{гр.2} = 2,2 \rho$; – те ж саме, розміщених на відстані кроку – $r_{гр.2} = 1,6 \rho$; – двох ніг, "включених послідовно" – $r_{гр.2} = 6,2 \rho$; де ρ – питомий опір ґрунту, Ом·м.
Ізолювальні зони	Виокремленні зони (приміщення, площадки, шляхи), в яких захист від прямого і непрямого дотику забезпечується високим опором підлоги і стін, і в яких відсутні заземлені провідні частини.

Теоретичні положення

1. Небезпека експлуатації електроустановок

Небезпека експлуатації ЕУ полягає у можливості включення людини під напругу дотику.

Напруга дотику це напруга, яка виникає на тілі людини, у разі одночасного дотику до двох струмовідних або струмопровідних частин ЕУ.

Згідно з «Правилами з охорони праці в електроустановках» розрізняють дві схеми дотику людини:

- напруга *прямого дотику* – це електричний контакт людей зі струмовідними частинами електроустановок, що перебувають під напругою, або наближення до них на небезпечну відстань (табл. 2);
- напруга *непрямого дотику* – це електричний контакт людей зі струмопровідною частиною електроустановок (найчастіше – металевий корпус ЕУ), яка опинилася під напругою внаслідок пошкодження ізоляції.

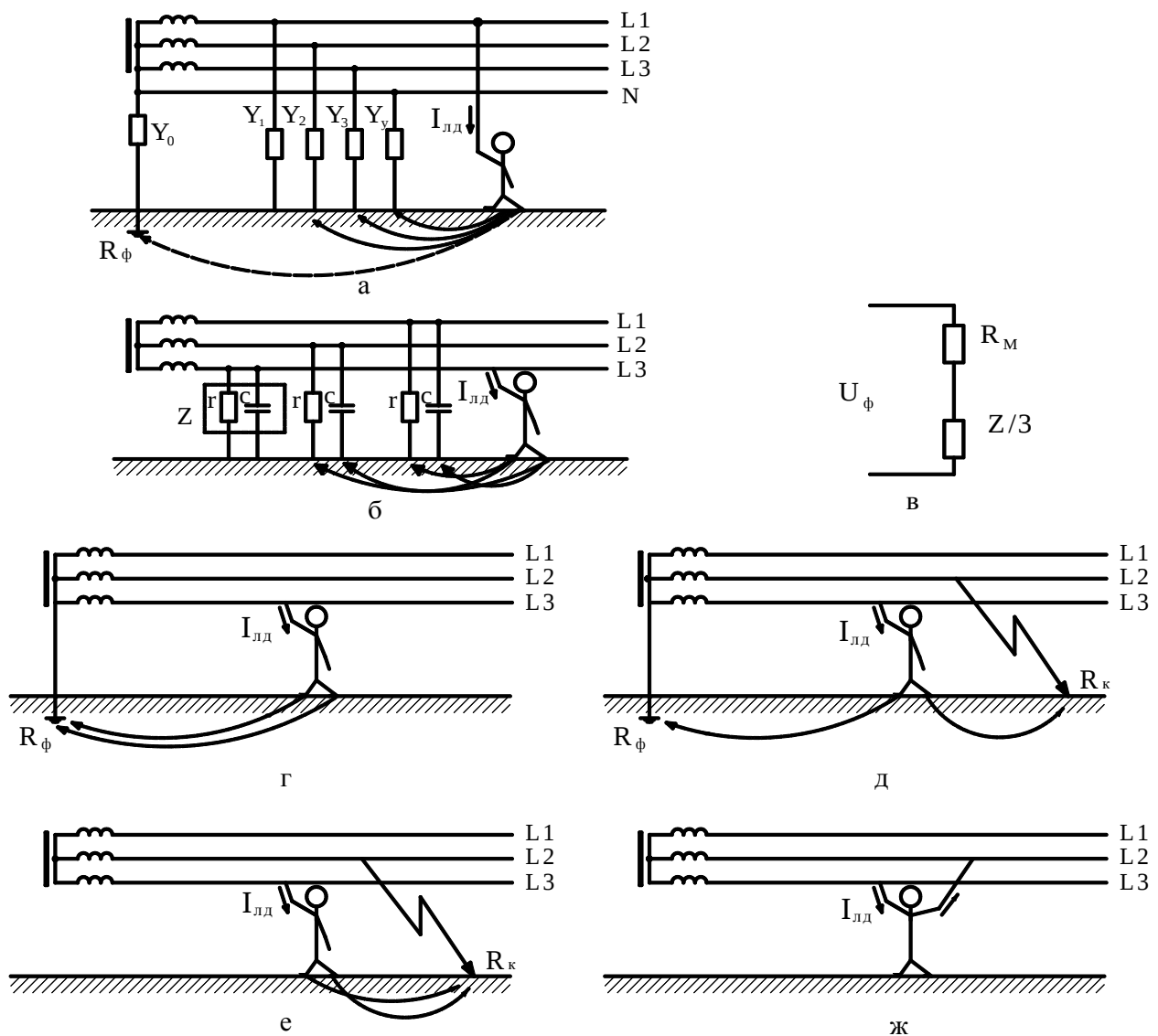
Таблиця 2. Мінімально допустимі відстані до струмовідних частин ЕУ

Напруга, кВ	До 1	3, 6, 10, 35	60, 110	150	220	330	400, 500	750
Відстань, м	0,6	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5	3,5	5,0

2. Небезпека прямого дотику до струмовідних частин трифазних мереж

У трифазних ЕМ можуть бути три види прямого дотику (рис. 1):

- однофазний прямий дотик – це дотик людини, що стоїть на провідній основі, до одного фазного провідника;
- двофазний прямий дотик – це одночасний дотик людини до двох різних фазних провідників;
- одночасний дотик до фазного і N-, PE- чи PEN- провідників у мережах напругою до 1 кВ з глухозаземленою нейтраллю.



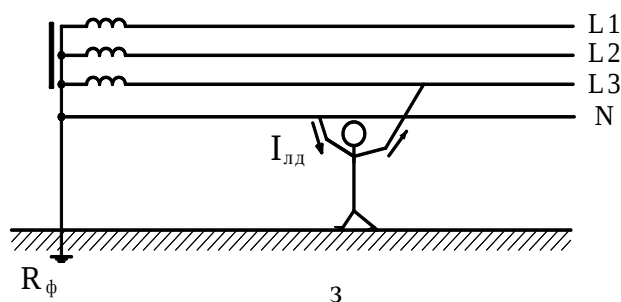


Рис. 1. Схеми можливих прямих дотиків у трифазних мережах:

- а – однофазний, загальний випадок;
- б, в – однофазний у мережі з ізолюованою нейтраллю у нормальному режимі (б – принципова; в – еквівалентна);
- г – однофазний у мережі з глухозаземленою (ефективно заземленою) нейтраллю;
- д – однофазний у аварійному стані мережі з глухо заземленою нейтраллю;
- е – однофазний у аварійному стані мережі з ізолюованою нейтраллю;
- ж – двофазний;
- з – до фазного і нейтрального провідників у мережі напругою до 1кВ з глухозаземленою нейтраллю

Однофазний прямий дотик у ЕМ з ізолюованою нейтраллю у нормальному режимі роботи (рис. 1, б, в). Такі мережі у нормальному режимі роботи симетричні відносно землі. Дотик працівника до однієї з фаз порушує симетрію, зумовлюючи несиметричний режим (рис. 2).

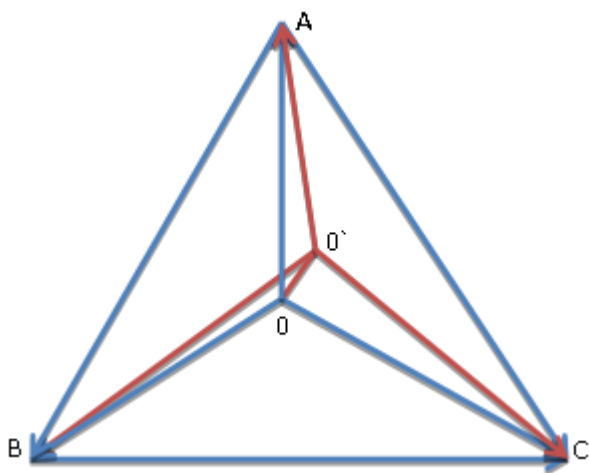


Рис. 2. Векторна діаграма напруг під час однофазного дотику

Комплексне значення струму через тіло людини $I_{л}$, який протікає за шляхом «рука-нога», визначаємо за формулою:

$$\dot{I}_{л} = \frac{U_C + U_{o'o}}{R_{л} + (R_0 - jX_c)}, \quad (1)$$

де $R_{л}$ – опір людини; R_0 , X_c – опір витoku електричної мережі.

Активні опори та ємності відносно землі усіх фазних провідників рівні за величиною. Тоді для загального випадку з урахуванням опору витoku і ємності

фазного провідника та опору людини, модуль величини струму можна визначити за формулою:

$$I \approx \frac{U_{\phi}}{\sqrt{(R_L + R_0)^2 + X_c^2}}, \quad (2)$$

де U_{ϕ} – фазна напруга мережі

Розглянемо окремі випадки:

– для ПЛ, враховують тільки опори витоку r і нехтують величиною X_c :

$$I_L = U_{\phi} / (R_L + R_0); \quad (3)$$

– для КЛ, які мають відносно велику ємність, можна знехтувати опором витоку:

$$I_L = U_{\phi} / \sqrt{(R_L)^2 + (X_c)^2}. \quad (4)$$

Якщо розглядати мережу напругою понад 1 кВ (для даного випадку і усіх інших) у формулах (2–4) для визначення I_L слід враховувати опір електричної дуги R_d , тому що часто людина не встигає доторкнутися до провідника, а лише наближається до нього, що призводить до проскакування дуги, і людина уражається електричним струмом через дугу:

$$\dot{I}_L = \dot{U}_{\phi} / (R_L + R_d + Z_0) \quad (5)$$

Однофазний прямий дотик у мережі з глухозаземленою (ефективно заземленою) нейтраллю за нормального режиму роботи (рис. 1, г). У цьому випадку струм через людину протікає у землю і скеровано до джерела живлення (трансформатора). Струм через людину можна визначити із залежності:

$$I_L = U_{\phi} / (R_L + R_{\phi}), \quad (6)$$

де R_{ϕ} – опір функціонального заземлення. Оскільки $R_{\phi} \ll R_L$, то струм, який протікає через людину дорівнює

$$I_L \approx U_{\phi} / R_L. \quad (7)$$

Однофазний прямий дотик у аварійному стані ЕМ з глухозаземленою нейтраллю (рис. 3.6, д, е). У цьому випадку людина доторкається до справного фазного провідника мережі (наприклад, L_3), а інший фазний провідник (наприклад, L_2) має замикання на землю через перехідний опір R_K (опір контакту). Струм протікає через людину на землю і розділяється на дві частини: одна прямує до місця замикання на землю (R_K), а інша – до джерела живлення (R_{ϕ}). Струм, який протікає через людину, визначаємо за величиною напруги прямого дотику $U_{\text{дот}}$

$$I_L = U_{\text{дот}} / R_L. \quad (8)$$

Величина $U_{\text{дот}}$ залежить від величини опорів R_{ϕ} і R_K :

– якщо $R_K \rightarrow 0$, $U_{\text{дот}} \rightarrow U_L$;

$$I_L \approx U_L / (R_{\phi} + R_L),$$

де U_L – лінійна напруга мережі;

– якщо $R_K > R_{\phi}$, $U_{\text{дот}} \rightarrow U_{\phi}$.

$$I_{\text{Л}} \approx U_{\phi} / (R_{\text{К}} + R_{\text{Л}}). \quad (9)$$

Двофазний прямий дотик (рис. 1, ж). У такому випадку струм протікає через тіло людини шляхом «рука-рука» і дорівнює:

– якщо мережа напругою до 1 кВ:

$$I_{\text{Л}} = U_{\text{Л}} / R_{\text{Л}}; \quad (10)$$

– якщо мережа напругою понад 1 кВ (слід враховувати опір електричної дуги $R_{\text{Д}}$):

$$I_{\text{Л}} = U_{\text{Л}} / (R_{\text{Л}} + R_{\text{Д}}). \quad (11)$$

Прямий дотик до фазного і нейтрального провідників у ЕМ напругою до 1кВ з глухозаземленою нейтраллю (рис. 1, з). У такій схемі струм через тіло людини протікає шляхом «рука-рука» і визначається за формулою:

$$I_{\text{Л}} = U_{\phi} / R_{\text{Л}}. \quad (12)$$

Аналізуючи розглянуті випадки прямих дотиків людини до струмовідних частин трифазних електричних мереж, можемо констатувати, усі вони є смертельно небезпечні для людини.

3. Напруга непрямого дотику до корпусу ЕУ

Під напругу непрямого дотику до корпусу ЕУ потрапляє працівник, котрий стоїть на відкритому ґрунті чи струмопровідній підлозі і доторкується до корпусу ушкодженої ЕУ (рис. 3, а).

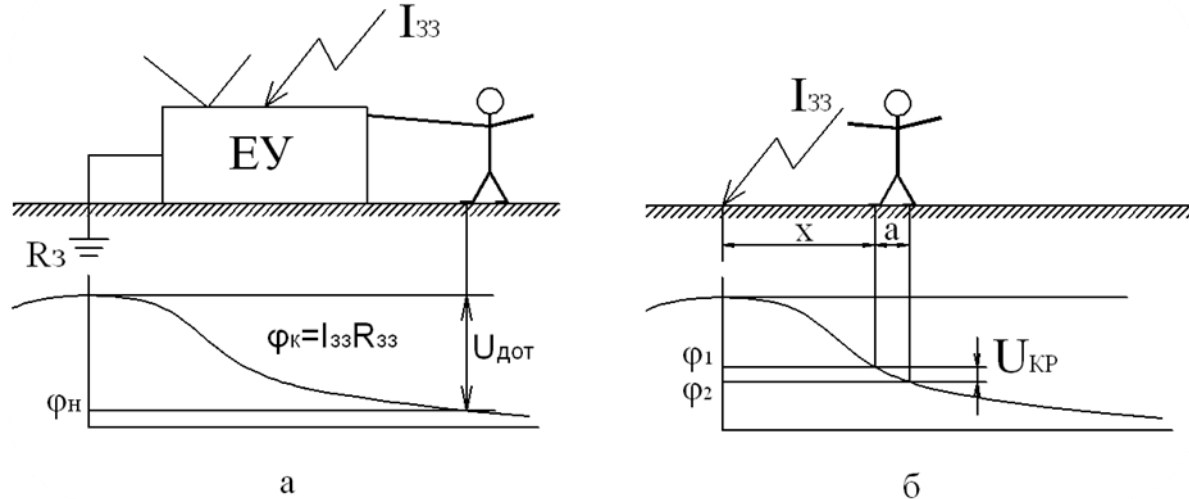


Рис. 3. Розподіл потенціалів на поверхні землі біля ушкодженої ЕУ:
а) – напруга непрямого дотику; б) – напруга кроку.

Напруга дотику дорівнює різниці потенціалів корпусу ЕУ і точки, де перебувають ноги людини:

$$U_{\text{ДОТ}} = \varphi_{\text{К}} - \varphi_{\text{Н}}. \quad (13)$$

Потенціал корпусу дорівнює добуткові струму замикання на землю $I_{\text{ЗЗ}}$ і опору захисного заземлення $R_{\text{З}}$:

$$\varphi_{\text{К}} = I_{\text{ЗЗ}} R_{\text{З}}. \quad (14)$$

Потенціал точки, де перебувають ноги людини, котра торкається корпусу (на відстані x від захисного заземлювача), дорівнює:

$$\varphi_n = \frac{I_{33}\rho}{2\pi x}, \quad (15)$$

де ρ – питомий опір ґрунту, Ом·м.

Тоді напруга непрямого дотику $U_{\text{дот}}$ визначається як

$$U_{\text{дот}} = I_{33} \left(R_3 - \frac{\rho}{2\pi x} \right) \quad (16)$$

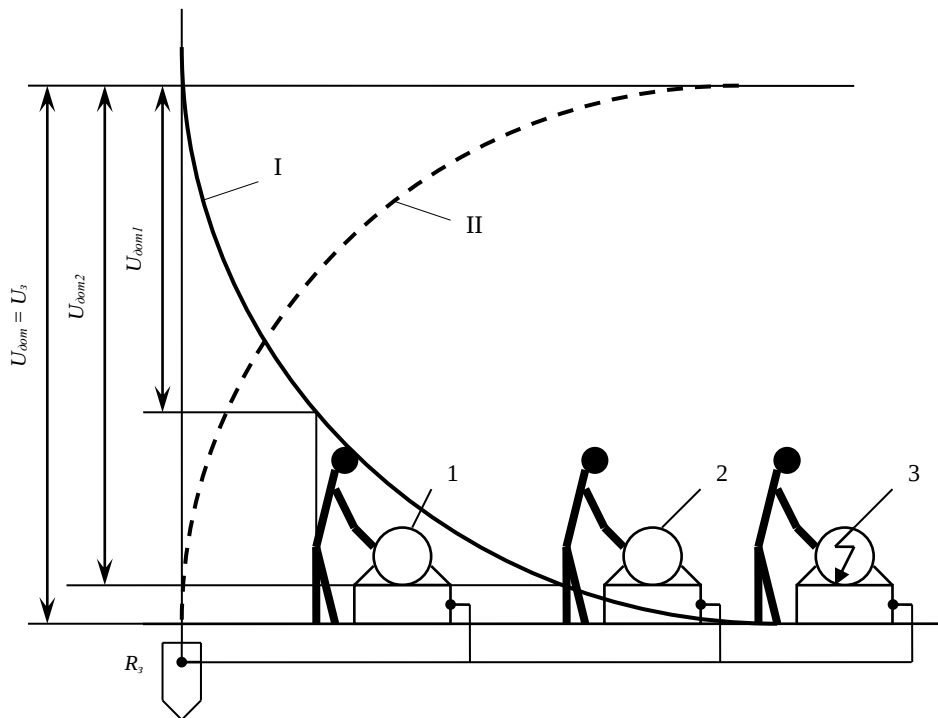


Рис. 4. Напруга дотику до заземлених струмопровідних частин ЕУ, які опинилися під напругою

На рис. 4 наведено три корпуси електродвигунів, які приєднано до одного заземлювача з опором R_3 . Потенціали на поверхні ґрунту під час замикання на корпус у будь-якій ЕУ розподіляються за гіперболічним законом (крива I). Потенціали усіх корпусів однакові, оскільки вони електрично з'єднанні між собою заземлювальним провідником. Для визначення напруги непрямого дотику $U_{\text{дот}}$ потрібно від напруги замикання U_3 відняти потенціал тієї точки ґрунту, на якій стоїть працівник. Якщо працівник стоїть над заземлювачем то напруга дотику дорівнює нулю, оскільки, потенціали рук та ніг однакові та дорівнюють потенціалу корпусів (напрузі замикання). За мірою віддалення від заземлювача напруга дотику зростає (Крива II) і у працівника, котрий доторкнувся до останнього (третього) корпусу ЕУ, вона досягає напруги замикання, оскільки в цій точці ґрунту потенціал ніг працівника дорівнює нулю. Тобто, напруга непрямого дотику в межах розтікання струму є часткою напруги замикання і зменшується за мірою наближення до заземлювача.

4. Способи зниження напруги прямого і непрямого дотику

Для зниження величин напруги прямого і непрямого дотику у відкритих і закритих електроустановках застосовують ізолювальні зони.

Ізолювальні зони – це виокремлені зони (приміщення, площадки, шляхи), в яких захист від непрямого дотику забезпечується високим опором підлоги і стін, і в яких відсутні заземлені провідні частини. Доступ у такі зони мають кваліфіковані працівники, які обслуговують ЕУ.

Опір ізолюваної підлоги і стін таких зонах у будь-якій точці відносно локальної зони повинен бути не менш як:

- 50 (кОм·м) – для ЕУ номінальною напругою 500 В включно;
- 100 (кОм·м) – для ЕУ номінальною напругою до 1 000 В;
- 10...1000 (МОм·м) – для ЕУ номінальною напругою більш як 1 000 В.

Захисна дія таких конструкцій полягає у великому опорі їх відносно землі, що обмежує струму, який може протікати через працівника, котрий доторкнулася до частини ЕУ під напругою. Збільшення опору підлоги дає змогу збільшити опір людини (див. ф. 5–12) і зменшити струм через працівника до допустимих значень.

Завдання на виконання роботи

- 1 Сформувати бригади з трьох студентів. Визначити перелік робіт, які потрібно здійснити.
- 2 Провести виміри струмів і напруги прямого дотику.
- 3 Результати вимірів занести до табл. 3.

Таблиця 3. Результати експериментальних вимірювань

Режим нейтралі ЕМ	Активний опір мережі, МОм	Реактивний опір мережі, МОм	Струм, який протікає через людину, мА	Напруга дотику, В
ЕМ з ізолюваною нейтраллю				
ЕМ з глухозаземленою нейтраллю				

- 4 За даними вимірювань побудувати графіки $I_n = f(R_0)$ і $U_{\text{дот}} = f(R_0)$.
- 5 За даними вимірювань побудувати графіки $I_n = f(X_C)$ і $U_{\text{дот}} = f(X_C)$.
- 6 Провести виміри струмів і напруги непрямого дотику.
- 7 Результати вимірів занести до табл. 4.

Таблиця 4. Результати експериментальних вимірювань

Режим роботи	Струм у	Струм, який	Напруга дотику, В
--------------	---------	-------------	-------------------

захисного заземлення	нейтральному проводі, мА	протікає через людину, мА	
Без захисного заземлення			
Захисне заземлення $R_3 = 100 \text{ Ом}$			
Захисне заземлення $R_3 = 10 \text{ Ом}$			

- 8 За даними вимірювань побудувати графіки $I_{\text{л}} = f(R_3)$ і $U_{\text{дот}} = f(R_3)$.
- 9 Надати висновки за результатами роботи.

Послідовність виконання роботи

- 1 Ознайомитися з лабораторним стендом і змістом роботи.
- 2 Подати напругу на схему стенду через вмикання тумблеру «Устр.».
- 3 Встановити перемикач « $R_{\text{л}}$ » у перше положення, якому відповідає значення ($R_{\text{л}} = 1 \text{ кОм}$).
- 4 Дослідити вплив активного опору витоку мережі на величину струму, який протікає через людину, і напруги прямого дотику. Перемикачі C_A , C_B , C_C встановити в положення «0» і натиснути кнопку «Замикання». Перемикачами R_A , R_B , R_C симетрично змінювати активні опори витоку. Величини струмів і напруги прямого дотику занести до табл. 3.
- 5 Дослідити вплив ємності мережі на величину струму, який протікає через людину, і напруги прямого дотику. Перемикачі C_A , C_B , C_C встановити в положення «С». Перемикачі R_A , R_B , R_C встановити в положення «0» і натиснути кнопку «Замикання». Величини струмів і напруг занести до табл. 3.
- 6 Заземлити нейтральну точку ДЖ (трансформатора) через вмикання тумблеру « R_a ».
- 7 Натиснути кнопку «Замикання». Величини струмів і напруги непрямого дотику занести до табл. 4.
- 8 Приєднати корпус ЕУ до заземлюючого пристрою з опором 100 Ом. Натиснути кнопку «Замикання». Занести показники приладів до табл.
- 9 Приєднати корпус ЕУ до заземлюючого пристрою з опором 10 Ом. Натиснути кнопку «Замикання». Занести показники приладів до табл. 4
- 10 Проаналізувати отримані експериментальні данні і порівняти їх з теоретичними розрахунками.

Контрольні запитання

1. Які види прямого дотику можливі під час експлуатації електричних мереж.
2. Пояснити найбільш небезпечні випадки прямого дотику. Які параметри впливають на величину напруги прямого дотику.

3. Які фактори призводять до виникнення напруги непрямого дотику і протікання струму через працівника.
4. Пояснити розподіл потенціалів за поверхнею гранту або підлоги у разі виникнення аварійних ситуацій під час експлуатації електричних машин.
5. Пояснити розподіл напруг непрямого дотику між заземлювачем та ЕУ. Які параметри впливають на величину напруги непрямого дотику.
6. Пояснити у чому полягають основні способи захисту від напруги прямого різниці під час виконання виносного чи контурного заземлювального пристрою.

Перелік літературних джерел

- 1 Ткачук К.Н. Охорона праці і промислова безпека / К.Н. Ткачук, В.В. Зацарний, М.Ф. Каштанов, Л.Д. Третякова та ін. // К.: Лібра, 2010. – 425 с.
- 2 НПАОП 40.1-1.01-97 (ДНАОП 1.1.10-1.01-97). Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Встановлено вимоги щодо безпечної експлуатації електроустановок напругою до 500 кВ.
- 3 ДНАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Визначає вимоги з безпечної експлуатації електроустановок споживачів напругою до 220 кВ.
- 4 Правила улаштування електроустановок (ПУЕ – 2010). Розділ 1. Загальні правила. Гл. 1.7. Заземлення і захисні заходи безпеки.

Лабораторна робота 2

Визначення напруги кроку в електроустановках

Мета заняття: вивчення теоретичних положень та експериментальних способів визначення напруги кроку в електроустановках

Завдання дослідження

- 1 Вивчення теоретичних положень щодо виникнення напруги кроку.
- 2 Експериментальне визначення напруги кроку у разі замикання проводу на землю.
- 3 Експериментальне визначення впливу опору заземлювального пристрою відкритої електроустановки на величину напруги кроку.
- 4 Розрахунок струму, який може протікати через тіло людини у разі потрапляння під вплив напруги кроку.
- 5 Вивчення технічних заходів щодо зменшення напруги кроку.

Основні поняття і визначення

Таблиця 1. Назва, скорочення і визначення теоретичних положень з охорони праці

Назва, скорочення	Визначення
Небезпечні і шкідливі виробничі чинники (НШВЧ)	Небажане явище, яке супроводжує виробничий процес і вплив якого на працівника може призвести до погіршення самопочуття, зниження працездатності, виникнення виробничозумовленого чи професійного захворювання або втрати працездатності і навіть до раптової смерті
Електроустановка (ЕУ)	Енергетична установка, призначена до виробництва, перетворення, передавання, розподілення чи споживання електроенергії
Відкрита розподільча ЕУ (ВРУ)	Електрична розподільча установка, розміщена просто неба
Повітряна лінія електропередавання (ПЛ)	Лінія електропередавання, проводи якої підтримуються за допомогою опор та ізоляторів. Початком та кінцем ПЛ є лінійні портали або лінійні вводи ВРУ, а для відгалужень – відгалужувальна опора та лінійний портал або лінійний ввід ВРУ. При цьому натяжні ізолюючі підвіски, встановлені на лінійних порталах з боку ПЛ, а також усі затискачі, закріплені на проводах ПЛ, належать

	до ПЛ.
Кабельна лінія електропередавання (КЛ)	Лінія електропередавання, яка сполучена з одного чи декількох кабелів, прокладених безпосередньо в землі, кабельних каналах, трубах, на кабельних конструкціях
Заземлювальний пристрій (ЗП)	Сукупність електрично з'єднаних між собою заземлювача і заземлювальних провідників, та елементи їх з'єднання.
Заземлення	Спеціальне електричне з'єднання будь-якої ЕУ або частини ЕУ з заземлювальним пристроєм
Замикання на землю	Випадкове електричне з'єднання частин ЕУ, які знаходяться під напругою, із землею.
Напруга дотику	Напруга, яка виникає на тілі людини, у разі одночасного дотику до двох струмовідних або струмопровідних частин ЕУ
Прямий дотик	Електричний контакт людей зі струмовідними частинами ЕУ, що перебувають під напругою, або наближення до них на небезпечну відстань;
Непрямий дотик	Електричний контакт людей з відкритою струмопровідною частиною (найчастіше – корпусом) ЕУ, яка опинилася під напругою внаслідок пошкодження ізоляції
Напруга кроку	Напруга між двома точками на поверхні локальної землі, які розташовано на відстані 1м одна від одної, що відповідає довжині великого кроку людини
Зона розтікання (локальна земля)	Частина поверхні землі, яка перебуває в електричному контакті зі заземлювачем, та електричний потенціал якої не дорівнює нулю
Зона нульового потенціалу (відносна земля)	Частина поверхні землі, яка перебуває за межею зони впливу будь-якого заземлювального пристрою, електричний потенціал якої умовно можна прийняти за нульовий
Опір людини	Під час включення людини в електричне коло опір людини визначається сумою опорів тіла людини, одягу, взуття та опорної поверхні ніг на ґрунті.
Опір тіла людини $R_{\text{л}}$	Нелінійний опір, який має активно-ємний характер. У розрахунках приймають $R_{\text{л}} = (1000 \dots 1500) \text{ Ом}$
Електроізолювальний комплект	Електроізолювальний комплект складається з діелектричного захисного одягу, рукавичок, діелектричної каски, який використовує

	працівник під час робіт в діючих ЕУ.
Опір електроізолювального комплексу R_{30}	Опір електроізолювального комплексу включають у розрахунок, у разі якщо працівник може торкнутися ЕУ частиною тіла, яку вкрито таким комплектом (рука, голова, плече тощо) опір одягу залежить від виду матеріалу, його товщини і вологості. У розрахунках приймають: R_{30} сухого одягу (3...5) кОм; вологого – до 1 кОм.
Електроізолювальне захисне взуття	Взуття, яке використовує працівник під час робіт в діючих ЕУ.
Опір захисного взуття	Опір підошви взуття у розрахунках приймають: R_{30} сухого взуття (6...8) кОм; вологого – до 1 кОм.
Опір поверхні ніг у приміщенні R_n	Опір підлоги, на якій стоїть працівник. R_n дерев'яної підлоги приймають (3...5) кОм, цементної до 1 кОм
Опір поверхні ніг назовні	Опір поверхні ґрунту, яка якому знаходиться працівник. Опір на ґрунті залежить від виду, вологості і розміщення ніг на ґрунті та визначається залежностями: – однієї ноги – $r_{гр.1} = 3,1 \rho$; – двох ніг, "включених паралельно" і розміщених поряд – $r_{гр.2} = 2,2 \rho$; – те ж саме, розміщених на відстані кроку – $r_{гр.2} = 1,6 \rho$; – двох ніг, "включених послідовно" – $r_{гр.2} = 6,2 \rho$; де ρ – питомий опір ґрунту, Ом·м.

Теоретичні положення

1. Небезпека замикання на землю

Напруга кроку – напруга між двома точками на поверхні локальної землі, які розташовано на відстані 1 м одна від одної, що відповідає довжині великого кроку людини.

Замиканням на землю називається випадкове електричне з'єднання частин ЕУ, яка знаходяться під напругою, із землею. *Небезпека замикань на землю в ЕУ* зумовлена струмопровідними властивостями ґрунту на поверхні землі. Ґрунт має певний електричний опір, через це на поверхні ґрунту під час протікання струму з'являються потенціали.

Замикання на землю в ЕУ відбувається у таких випадках:

- обриву і падіння на землю проводів ПЛ під напругою;
- пробой ізоляції КЛ і замиканні фази на землю;

– ушкодженні ізоляції та переході фазної напруги мережі на заземлені корпуси ЕУ.

Струм від заземлених корпусів ЕУ, які опинилися під напругою, переходить у землю через електрод, який здійснює контакт з ґрунтом. Спеціальний металевий електрод, який для цього використовують, прийнято називати *заземлювачем*. Струм через розтікання у ґрунті створює на його поверхні потенціали. Заземлювачі можуть мати різне розташування на поверхні землі, різні розміри та форму. Вибір та розміщення електродів заземлювача відносно поверхні землі залежить від умов їх використання (рис. 1).

Заземлювачі можна розміщувати:

- біля поверхні землі (рис. 1 а). Такі заземлювачі рекомендують тільки як тимчасові і не рекомендують як стаціонарні, що зумовлено змінням опору електрода через промерзання ґрунту узимку і його висихання у літку;
- глибше зони промерзання ґрунту (рис. 1, б). Таке розміщення електродів рекомендують для стаціонарних заземлювачів, тому що уся металоконструкція міститься у ґрунті з приблизно однаковим значенням питомого опору.

Електроди можна виконувати круглого та кутникового перерізу (рис. 1, в)

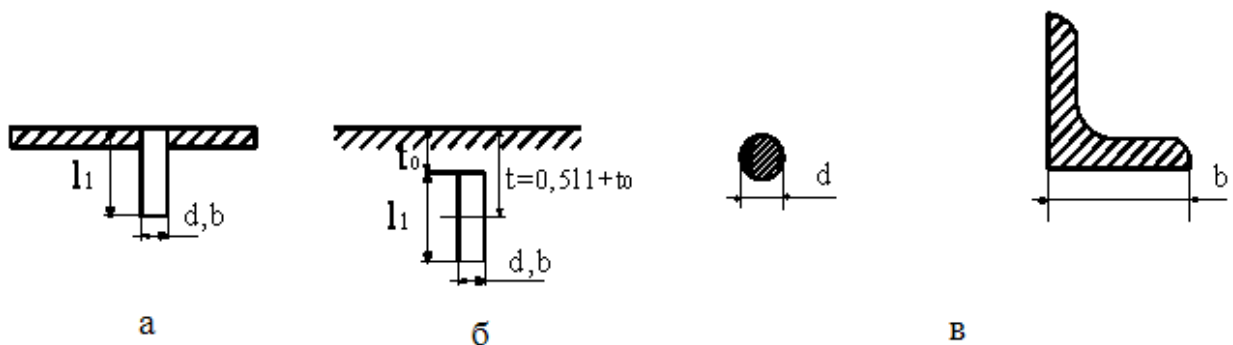


Рис. 1. Розміщення вертикальних електродів у ґрунті (а, б), перерізи вертикальних електродів (в):

l_1 – довжина вертикального електрода; t_0 – глибина зони промерзання; t – відстань від поверхні до середини вертикального електрода; d – діаметр вертикального електрода; b – розмір сторони полиці кутника.

Розглянемо замикання на напівсферичний вертикальний заземлювач біля поверхні землі (рис. 2 а). У разі аварійної ситуації через заземлювач протікає струм замикання на землю I_{33} . Потенціал у точці А, яка перебуває на відстані x від заземлювача, запишеться рівнянням:

$$\varphi_a = \frac{I_{33}\rho}{2\pi x} = \frac{k}{x}; \quad (1)$$

де ρ – питомий опір ґрунту, залежить від структури. Наприклад, питомий опір ґрунту з чорнозему дорівнює 10...55 (Ом·м), торфу – 8...20 (Ом·м), у лісі – 100...320 (Ом·м), піску – 400...2500 (Ом·м).

За наявності одного заземлювача величина

$$I_{33}\rho/(2\pi) = \text{const}$$

тобто це рівняння гіперболи для змінної величини x . Таким чином, потенціали на поверхні землі, зумовлені замиканням на напівсферичний заземлювач, розподіляються за законом гіперболи, зменшуючись з віддаленням від місця замикання на землю.

У разі замирання на подвійний заземлювач напівсферичної форми результуючий розподіл потенціалів визначаємо за принцип накладання: у кожній точці поверхні знайдемо суму потенціалів, які зумовлено кожним окремим заземлювачем (рис. 2, б).

Для характеристики замикань на землю в ЕУ запроваджено два поняття:

- *зона розтікання (локальна земля)* – це частина землі, яка перебуває в електричному контакті із заземлювачем та електричний потенціал якої не дорівнює нулю. Радіус цієї зони залежить від струму I_{33} і питомого опору ρ ; для будь-яких можливих значень I_{33} він не перевищує 20 м, наприклад для ЕУ напругою 10 кВ на середніх ґрунтах становить до 6...8 м ;
- *зона нульового потенціалу (відносна земля)* – це провідна частина землі, яка перебуває за межею зони впливу будь-якого заземлювального пристрою, електричний потенціал якої умовно можна прийняти за нульовий.

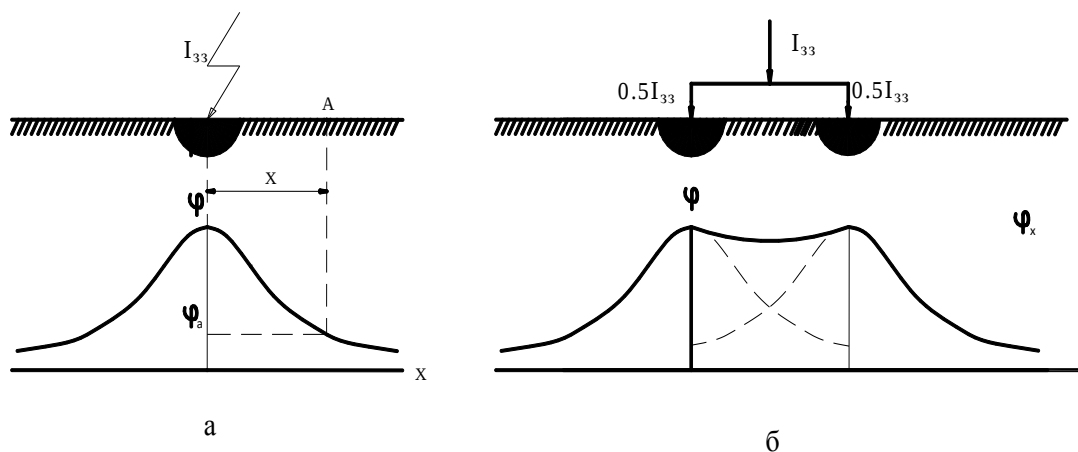


Рис. 2. Схеми замикання і закони розподілу потенціалів на поверхні землі:

а – один напівсферичний заземлювач;

б – два напівсферичні заземлювачі.

2. Напруга кроку

Під напругу кроку потрапляє людина, котра переміщується за поверхнею землі у зоні розтікання струму замикання на землю (локальна земля). Напруга кроку дорівнює різниці потенціалів точок поверхні ґрунту, у яких перебувають ноги людини (рис. 3.).

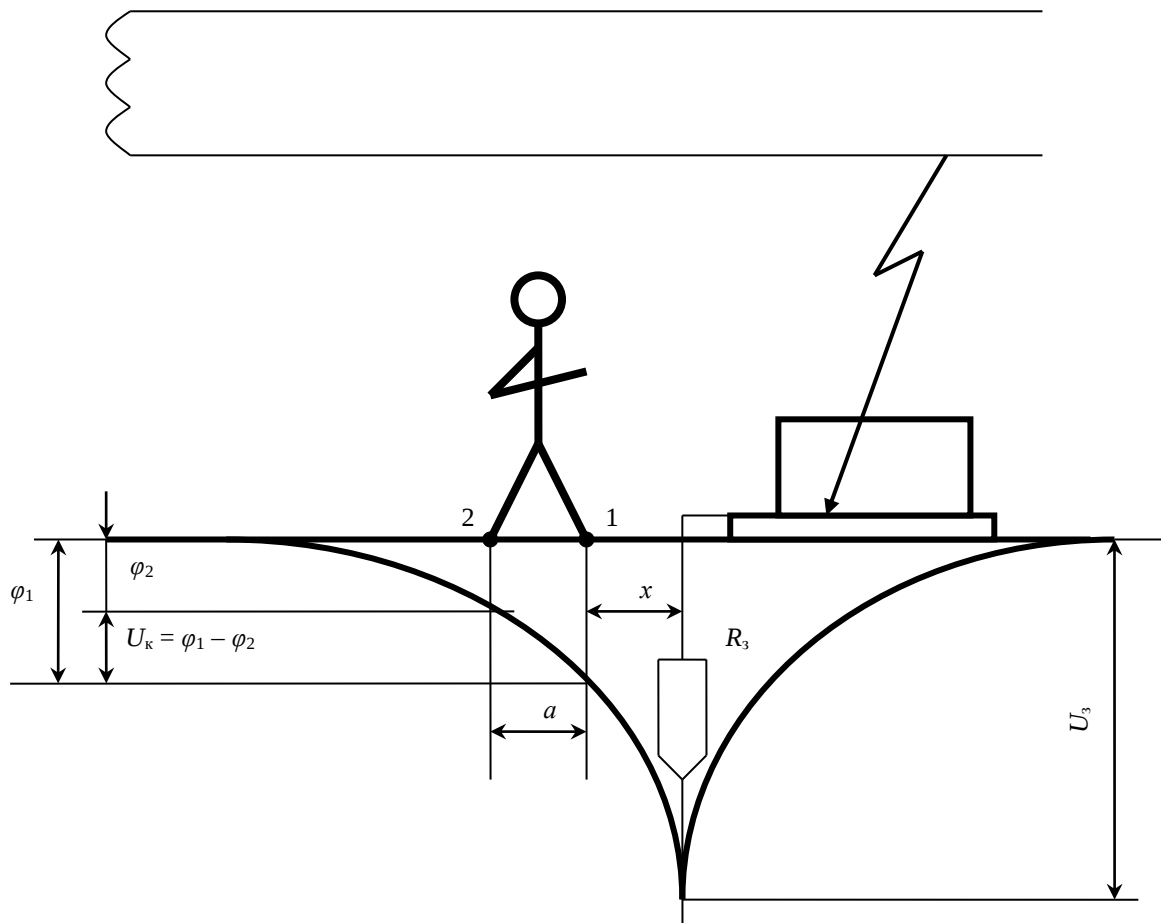


Рис. 3. Розподіл потенціалів за поверхнею землі і визначення напруги кроку

Оскільки точка 1 знаходиться на відстані x від заземлювача, то її потенціал при напівсферичному заземлювачі дорівнює

$$\varphi_1 = I_3 \rho / 2\pi x. \quad (2)$$

Точка 2 знаходиться на відстані $x + a$, де a – відстань кроку людини. в такому випадку її потенціал становить

$$\varphi_2 = I_3 \rho / 2\pi(x + a). \quad (3)$$

Тоді напруга кроку U_k між двома точками дорівнює

$$U_k = \frac{I_3 \cdot \rho}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{x + a} \right) = \frac{I_3 \cdot \rho \cdot a}{2 \cdot \pi \cdot x \cdot (x + a)}. \quad (4)$$

З формули (4) та рис. 3 випливає, що напруга кроку знижується за мірою віддалення від точки замикання на землю та за зменшенням довжини кроку людини.

Під впливом напруги кроку струм проходить через тіло людини шляхом “нога – нога”, який є менш небезпечним за інші, однак відомо чимало випадків ураження струмом, які спричинено саме кроковою напругою. Щорічно до 5 % ураження людини електричним струмом спричинено напругою кроку. Важкість ураження зростає через судомні скорочення м’язів ніг, що призводить до падіння людини. Після падіння струм протікає шляхом “рука – ноги”, тобто

через життєво важливі органи. Окрім того, зріст людини більший за довжину кроку, що зумовлює більшу різницю потенціалів.

Розглядаючи випадки потрапляння під напругу кроку, загальний опір людини визначаємо як послідовне включення: опір тіла людини $R_{\text{л}}$; опір взуття $R_{\text{в}}$; опір розтікання струму $R_{\text{к}}$ в ґрунті між точками, в яких знаходяться ноги людини (“опір кроку”).

Струм, який протікає через тіло людини $I_{\text{л}}$, визначаємо за формулою:

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{к}}}{R_{\text{л}} + R_{\text{в}} + R_{\text{к}}} \approx \frac{U_{\text{к}}}{R_{\text{л}} + R_{\text{в}} + 6 \cdot \rho}, \quad (5)$$

де $R_{\text{л}}$ – опір тіла людини, Ом. Приймаємо 1 000 Ом; $R_{\text{в}}$ – опір взуття, Ом. Опір підошви взуття залежить від матеріалу, товщини і вологості підошви. Дуже високий опір має підошва з гуми, великий опір має підошва з натуральної шкіри. У підошви з полімерних матеріалів: суха підошва має опір до 20 кОм; волога – (2...3) кОм; опір мокрої підошви не враховується. $R_{\text{к}}$ – опір розтікання струму в ґрунті між точками, в яких знаходяться ноги людини (“опір кроку”). $R_{\text{к}} \approx 6,2 \cdot \rho_{\text{n}}$, де ρ – питомий опір поверхні ґрунту

У випадку обриву проводу ПЛ **небезпечно** наближатися до місця замикання проводу на землю в радіусі 8 м. Виходити із зони розтікання струму необхідно кроками, що не перевищують довжини ступні. Якщо потрібно наблизитися до місця замикання проводу на землю, то для запобігання ураження кроковою напругою необхідно вдягнути діелектричні чоботи чи боти.

3. Принцип захисної дії контурного захисного заземлення

Для зниження величини напруги кроку на відкритих електроустановках застосовують спосіб вирівнювання потенціалів. Вирівнювання потенціалів є способом зниження напруги кроку між точками електричного кола, на яких може одночасно стояти працівник. Вирівнювання потенціалів досягається шляхом штучного підвищення потенціалу опорної поверхні ніг. З цією метою на відкритих електроустановках (трансформаторні підстанції, ВРУ, електростанції, батареї конденсаторних установок, акумуляційні станції тощо) застосовують захисні штучні контурні заземлювальні пристрої. Завдяки такому заземлювальному пристрою напруга кроку $U_{\text{к}}$ знижуються до допустимих значень (табл. 2).

Таблиця 2. Допустимі значення напруги дотику і кроку в електроустановках з глухозаземленою або ефективно заземленою нейтраллю

Тривалість дії (не більш як), $t_{\text{с}}$, с	0,1	0,2	0,5	0,7	0,9	1,0...5,0
Напруга кроку або дотику, $U_{\text{д}}$, В	500	400	200	130	100	65

За взаємним розташуванням заземлювального пристрою і заземлювальних ЕУ заземлення поділяють на *виносні і контурні*. Заземлювачі *виносних* заземлень розміщують на деякій відстані від заземлювального обладнання, часто у зоні нульового потенціалу. Заземлювачі *контурних* заземлень розміщують за периметром площадки, на якій розміщено електроустановки. Для вирівнювання потенціалів використовують контурні заземлювальні пристрої.

Вертикальні заземлювачі в контурному заземленні розміщують за контуром, а в разі потреби, і в середині зони, яку захищають, і з'єднують горизонтальними заземлювачами. У разі аварійного замикання струмовідних частин ЕУ на струмопровідний корпус, який приєднано до такого контурного заземлення, ділянки землі всередині контуру набувають високих потенціалів, які наближаються до потенціалу заземлювачів.

Розглянемо схему і захисну дію контурного заземлення (рис. 4). Маємо територію майданчика, під яким розміщено заземлювальний пристрій (вертикальні електроди, сполучені горизонтальним електродом). На майданчику розміщено ЕУ, корпус якої заземлено (приєднано до заземлювача). В ЕУ виникло замикання на корпус через ушкодження ізоляції.

Для визначення картини розподілу потенціалів застосуємо відомий з електротехніки принцип суперпозиції або накладення. У цьому разі він полягатиме у визначенні суми потенціалів у кожній точці поверхні, зумовлених кожним електродом (рис. 4).

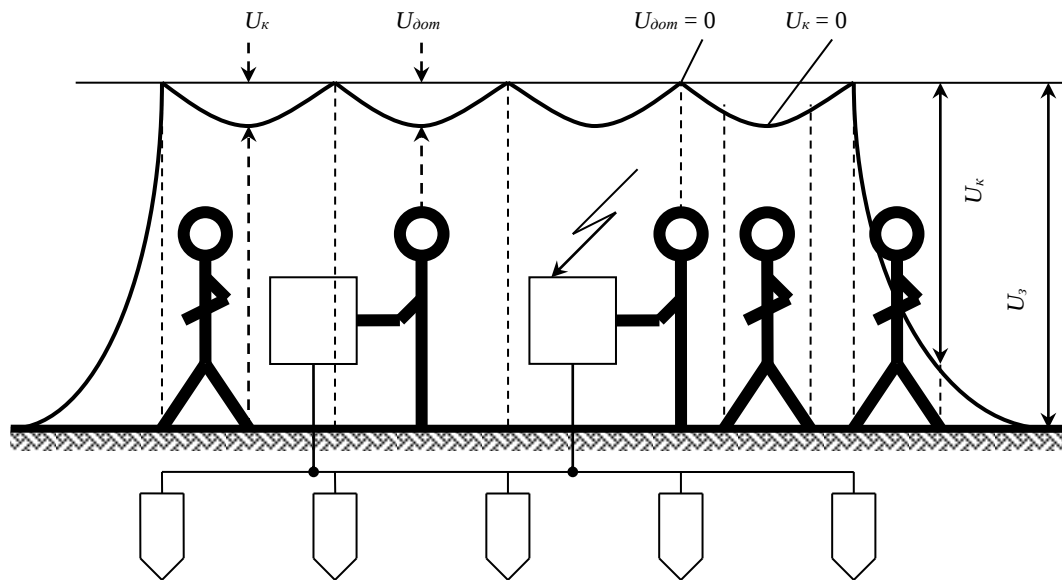


Рис. 4. Вирівнювання потенціалів при контурному заземненні

Як впливає з рис. 4, контурне заземлення «дає змогу отримати» майданчик у межах площі заземлювача з підвищеним потенціалом відносно прилеглої території. Розглянемо розподіл напруги кроку на території майданчика. Напруга кроку матиме *найбільше* значення, якщо працівник однією ногою розміщується над електродом заземлення, а другою – у напрямку

до середини між електродами. Напруга кроку дорівнюватиме нулю, якщо людина розміщується симетрично відносно електрода заземлення чи середини між електродами.

Завдання на виконання роботи

1. Сформувані бригади з трьох студентів. Визначити перелік робіт, які потрібно здійснити.
2. Провести виміри струмів і напруги кроку
3. Заповнити таблицю 3.

Таблиця 3. Результати експериментальних вимірювань

Напруга ЕУ, кВ	Струм замикання на землю, А	Опір заземлення, Ом	Вимірювані параметри	Відстань людини від місця замикання на землю l , м									
				0,8	1,6	2,4	3,2	4,0	4,8	5,6	6,4	7,2	8,0
6		∞	I_L , мА										
			U_K , В										
			R_L , Ом										
		0,5	I_L , мА										
			U_K , В										
			R_L , Ом										
		10	I_L , мА										
			U_K , В										
			R_L , Ом										
		50	I_L , мА										
			U_K , В										
			R_L , Ом										
35		∞	I_L , мА										
			U_K , В										
			R_L , Ом										
		0,5	I_L , мА										
			U_K , В										
			R_L , Ом										
		10	I_L , мА										
			U_K , В										
			R_L , Ом										
		50	I_L , мА										
			U_K , В										
			R_L , Ом										

4. Визначити струм, який протікає через тіло людини, та напругу кроку. Струм, який протікає через тіло людини, визначаємо за формулою (5).
5. За даними вимірювань побудувати графіки $I_L = f(l)$ і $U_K = f(l)$. Побудувати вольт-амперну характеристику тіла людини $I_L = f(U_K)$.

6. Для кожного значення U_k обчислити опір тіла людини і побудувати графік $R_L = f(U_k)$.
7. Надати висновки за результатами роботи.

Послідовність виконання роботи

1. Ознайомитися з лабораторним стендом і змістом роботи.
2. Подати напругу на схему стенду, вмиканням тумблера «Мережа».
3. За допомогою тумблера « 6 кВ – 35 кВ» встановити напругу електричної мережі.
4. Натиснути кнопку «Пробій» і змодельовати умови замикання лінійного проводу на землю. Записати значення струму за показниками амперметра.
5. Перевести тумблер «захист» в положення «-», що відповідає умовам відсутності захисного заземлення і записати показники вольтметра, який визначає величину напруги кроку під час переміщення людини між опорами ПЛ. Результати вимірів записати у табл. 3.
6. Перевести тумблер «захист» в положення «0,5 Ом», що відповідає умовам використання захисного заземлення з опором 0,5 Ом і записати показники вольтметра.
7. Провести аналогічні виміри при положенні 10 і 50 Ом.
8. Після закінчення вимірів стенд вимкнути. Всі перемикачі і тумблери повернути у вихідне положення.
9. Проаналізувати отримані експериментальні данні і порівняти їх з теоретичними розрахунками.

Контрольні запитання

1. За яких умов виникає наруга кроку.
2. Які параметри впливають на величину напруги кроку.
3. Які фактори призводять до виникнення і протікання струму замикання на землю.
4. Пояснити певні конструктивні особливості виконання заземлювального пристрою.
5. Пояснити небезпеку знаходження працівника у зоні розтікання струму біля заземлювача.
6. Пояснити у чому полягає різниця під час виконання виносного чи контурного заземлювального пристрою.
7. З якою метою виконують контурне захисне заземлення відкритих ЕУ.

Список літературних джерел

- 1 Ткачук К.Н. Охорона праці і промислова безпека / К.Н. Ткачук, В.В. Зацарний, М.Ф. Каштанов, Л.Д. Третьякова та ін. // К.: Лібра, 2010. – 425 с.
- 2 НПАОП 40.1-1.01-97 (ДНАОП 1.1.10-1.01-97). Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Встановлено вимоги щодо безпечної експлуатації електроустановок напругою до 500 кВ.
- 3 Правила улаштування електроустановок (ПУЕ – 2010). Розділ 1. Загальні правила. Гл. 1.7. Заземлення і захисні заходи безпеки.

Лабораторна робота 3

Вибір і дослідження ефективності захисного заземлення електроустановок напругою до 1 000 В

Мета заняття: ознайомитися зі способами побудови, методами розрахунку і принципом роботи захисного заземлення напругою до 1 000 В з глухозаземленою нейтраллю. Оцінити вплив величини опору на ефективність захисного заземлення в електроустановках напругою до 1000 В.

Завдання дослідження

- 1 Ознайомлення з основними поняттями побудови електричних мереж і підключення електроустановок напругою до 1000 В.
- 2 Ознайомлення з наявними режимами роботи нейтральних проводів в електричних мережах.
- 3 Вивчення нормативних значень опору захисного та повторного заземлення.
- 4 Вивчення алгоритму розрахунку і вибору захисного проводу в мережах з глухозаземленою нейтраллю до 1 000 В.

Основні поняття і визначення

Таблиця 1. Назва, скорочення і визначення теоретичних положень з охорони праці

Назва, скорочення	Визначення
Енергоустановка	Комплекс взаємопов'язаного устаткування та споруд, призначених для виробництва чи перетворення, передавання, накопичення, розподілення та споживання енергії.
Електроустановка (ЕУ)	Енергоустановка призначена для виробництва чи перетворення, передавання, розподілення чи споживання електроенергії
Електробезпека	Засоби і засоби з охорони праці, які забезпечують відсутність загрози під час експлуатації ЕУ життю та здоров'ю працівників з певним допустимим ризиком.
Електрична мережа (ЕМ)	Електроустановка призначена для передавання

	електроенергії
Повітряна лінія електропередавання (ПЛ)	ЕМ, яка розташована назовні, проводи якої підтримуються за допомогою опор та ізоляторів.
Електроустановка діюча	Електроустановка або її дільниця, які перебувають під робочою чи наведеною напругою, або на яку напруга можна подати вмиканням комутаційних апаратів, а також ПЛ, яка має зв'язки з діючою ПЛ
Електрообладнання	Пристрої, в яких виробляється, трансформується, перетворюється, розподіляється чи споживається електроенергія; комутаційні апарати в розподільчих пристроях електроустановок; усі види захисту електроустановок
Електроприміщення	Приміщення або відгороджені, наприклад, сітками, частини приміщень, доступні виключно для кваліфікованих обслуговуючих працівників, у яких розміщено ЕУ.
Електроприміщення з підвищеною небезпекою	Характеризуються наявністю однієї з наступних умов, зумовлюючих підвищену небезпеку: підвищена вологість повітря (вологість повітря тривалий час перевищує 75%); наявність у повітрі провідного пилу (вугільний чи металевий пил); наявність струмопровідних підлог (земляні, бетонні, цегляні, металеві та ін.); підвищена температура повітря (постійно або періодично, більше доби, перевищуючої +35°C); можливість одночасного дотику людини до будівельних або технологічних металоконструкцій, що мають гарний контакт із землею з одного боку і до корпусів ЕУ – з іншого боку.
Особливо небезпечні приміщення	приміщення, що характеризуються одночасною наявністю двох або більше умов підвищеної небезпеки або однієї з наступних умов особливої небезпеки: особлива вологість повітря (вологість близька до 100%); хімічно або біологічно активне середовище, що діє руйнівню на ізоляцію і струмовідні частини
Заземлювальний пристрій	Сукупність електрично з'єднаних заземлювача

(ЗП)	та заземлювальних провідників
Заземлення	Спеціальне електричне з'єднання будь-якої ЕУ або частини ЕУ з заземлювальним пристроєм
Заземлення захисне базове	Заземлення ПЛ на контур заземлення опори або груповий заземлювач з метою зниження наведеної напруги до безпечного значення
Заземлювач	Провідник (електрод) чи сукупність електрично з'єднаних між собою провідників, що перебувають у надійному контакті зі землею
Заземлювальний провідник	Провідник, що з'єднує заземлювальні частини зі заземлювачем
Струмівідна частина	Частина електроустановки, яка у робочому режимі перебуває під напругою
РЕ-провідник	Захисний провідник в ЕУ напругою до 1кВ, призначений для захисту від ураження електричним струмом у разі непрямого дотику
PEN-провідник	Провідник в ЕУ напругою до 1 кВ, який поєднує функції нейтрального (N-) і захисного (РЕ-) провідників
Струмопровідна (неструмівідна) частина	Частина ЕУ, яка у робочому режимі не перебуває під напругою, але може опинитися під напругою в аварійних режимах роботи (наприклад, корпус електричної машини)
Захисне заземлення	Заземлення точки або точок електричної системи та струмопровідних частин ЕУ з метою безпечного функціонування та використання.
Функціональне (робоче) заземлення	Функціональне (робоче) заземлення – це заземлення нейтральної або середньої точки джерела живлення (ДЖ) за умовами експлуатації електромереж (ЕМ) або з метою забезпечення електромагнітної сумісності.

Теоретичні положення

1. Загальна характеристика режимів нейтралі електричних мереж

Щодо заходів електробезпеки і режиму нейтралі ДЖ відносно землі ЕУ поділяють на такі класи:

- напругою до 1 кВ в ЕМ зі глухозаземленою нейтраллю;
- напругою до 1 кВ в ЕМ з ізольованою нейтраллю;
- напругою понад 1 кВ в ЕМ з ізольованою, компенсованою або (і) заземленою через резистор нейтраллю;
- напругою понад 1 кВ в ЕМ зі глухозаземленою або ефективно заземленою нейтраллю.

ЕМ з ефективно заземленою нейтраллю – трифазна ЕМ напругою понад 1 кВ, в якій коефіцієнт замикання на землю не перевищує 1,4. Коефіцієнт замикання на землю у трифазній ЕМ – це відношення різниці потенціалів між неущокованою фазою і землею у точці замикання на землю другої або двох інших фаз після замикання до різниці потенціалів між фазою і землею у цій точці до замикання.

Глухо заземлена нейтраль – нейтраль генератора або трансформатора, приєднана до заземлювального пристрою (ЗП) безпосередньо або через малий опір (наприклад, трансформатор струму). Глухозаземленим може бути також вивід джерела однофазного струму або полюс джерела постійного струму у двопровідних мережах, а також середня точка джерела трипровідних ЕМ змінного і постійного струму.

Ізольована нейтраль – нейтраль генератора або трансформатора, не приєднана до ЗП або приєднана до нього через великий опір приладів сигналізації, вимірювання та інших подібних до них пристроїв, наявність яких практично не впливає на значення струму замикання на землю.

Компенсована нейтраль – нейтраль генератора або трансформатора, приєднана до ЗП через дугогасні реактори для компенсації ємнісного струму у мережі під час однофазних замикань на землю.

Заземлена через резистор нейтраль – нейтраль генератора або трансформатора в ЕМ з ізольованою або компенсованою нейтраллю, приєднана до ЗП через резистор, наприклад, для захисту мережі від перенапруги або (і) виконання селективного захисту.

ЕУ мають такі основні конструктивні елементи:

- *струмопровідна* частина – будь яка частина ЕУ, яка має властивість проводити електричний струм;
- лінійний (фазний) провідник (L) – провідник, який у нормальному режимі роботи ЕУ перебуває під напругою і використовується для передавання і розподілу електричної енергії, але не є провідником середньої точки або нейтральним провідником;
- нейтральний провідник (N-провідник) – провідник в ЕУ напругою до 1 кВ, електрично з'єднаний з нейтральною точкою ДЖ, що використовується для розподілу електричної енергії;

- нейтральна точка – спільна точка з'єднаної у зірку багатофазної системи або заземлена точка однофазної системи;
- провідник середньої точки (М-провідник) – провідник в ЕУ напругою до 1 кВ, який електрично з'єднаний з середньою точкою ДЖ і використовується для розподілення електричної енергії;
- РЕ-провідник – захисний провідник в ЕУ напругою до 1кВ, призначений для захисту від ураження електричним струмом;
- PEN-провідник – провідник в ЕУ напругою до 1 кВ, який поєднує функції нейтрального (N-) і захисного (РЕ-) провідників.

Струмовідна частина – провідник або провідна частина, що перебуває у процесі нормальної роботи ЕУ під напругою, включаючи нейтральний (N-) провідник, але не (РЕ-) провідник.

2. Принцип дії та спосіб виконання захисного заземлення

Електробезпека експлуатації ЕУ у разі виникнення напруги непрямого дотику і напруги кроку забезпечує захисне заземлення

Захисне заземлення – це заземлення точки або точок електричної системи та струмопровідних частин ЕУ з метою безпечного функціонування та використання.

Призначення захисного заземлення – усунення небезпеки ураження електричним струмом у разі порушення ізоляції і появи напруги на корпусі ЕУ.

Принцип дії – перетворення замикання на корпус в однофазне замикання (замикання між фазним та нульовим проводами), яке здатне забезпечити спрацювання систем захисту і автоматичне від'єднання пошкодженої ЕУ від ДЖ.

Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) обмежують найбільші опори заземлення:

- для електроустановок напругою до 1000 В:
 - при сумарній потужності генераторів або трансформаторів в мережі живлення не більше 100кВт або 100 кВА – 10 Ом;
 - в інших випадках – 4 Ом;
- для електроустановок напругою вище 1000 В:
 - при ефективно заземленій нейтралі мережі живлення (напругах 110 кВ та вище і великих струмах замикання на землю) – 0,5 Ом;
 - при ізольованій нейтралі мережі живлення (напругах до 35 кВ включно) та умові, що заземлювач використовується тільки для електроустановок напругою вище 1000 В – ≤ 10 Ом;

Відповідно до ПУЕ захисне заземлення належить виконувати:

- при напрузі змінного струму 380 В і вище та 440 В і вище для постійного струму – у всіх електроустановках;

- при номінальних напругах змінного струму вище 42 В та постійного струму вище 110 В – лише в електроустановках, що знаходяться в приміщеннях з підвищеною небезпекою, особливо небезпечних, а також у зовнішніх електроустановках;
- при будь-якій напрузі змінного та постійного струму – у вибухонебезпечних установках.

3. Схеми захисного заземлення у ЕМ напругою 380/220 В

Усі внутрішні ЕМ напругою 380/220 В виконують *трифазними п'яти провідними*: три лінійні проводи (L1, L2, L3); нейтральний провід N; захисний провід PE.

В ЕМ напругою до 1 кВ з глухозаземленою нейтраллю ДЖ застосовується захисне заземлення у вигляді сполучення корпусів ЕУ з захисним PE провідником мережі (рис. 1).

Системи заземлення TN поділяють на такі підсистеми:

підсистема TN-C – це система TN, в якій N- або M- і PE-провідники поєднано в одному PEN-провіднику по всій мережі (рис. 1, а);

підсистема TN-S – це система TN, в якій N- або M- і PE-провідники розділені по всій мережі (рис. 1, б);

підсистема TN-C-S – це система TN, в якій N- або M- і PE-провідники поєднані в одному провіднику у частині мережі, починаючи від ДЖ (рис. 1. в).

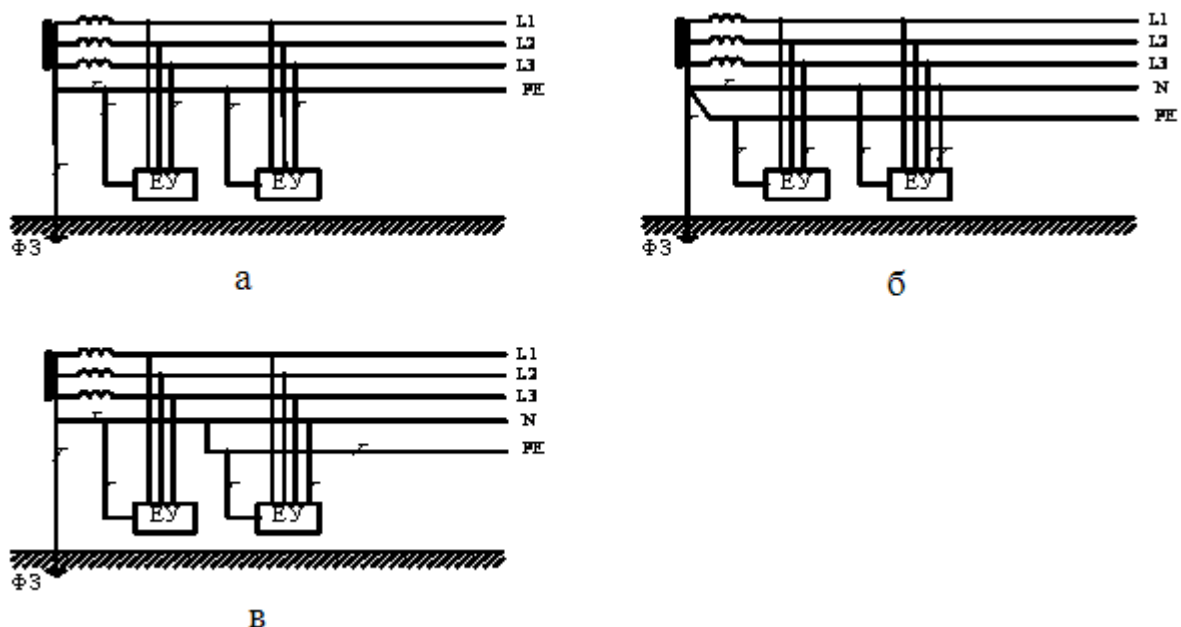


Рис. 1. Схеми підсистем захисного заземлення системи TN в ЕУ напругою до 1 кВ:

а – підсистеми TN-C; б – підсистеми TN-S; в – підсистеми TN-C-S

Таке сполучення корпусів ЕУ з нейтральним провідником ЕМ змінює шлях струму замикання на корпус. У цьому разі струм потече по фазному і

захисному провідниках та обмотці трансформатора. Опір цього кола струму буде малим (до 0,5 Ом). Тому величина такого струму буде велика, і цей струм буде струмом короткого замикання, від якого спрацює пристрій максимального струмового захисту і селективно відключить ушкоджену ЕУ чи ділянку ЕМ. Величину такого струму визначають за залежністю:

$$I_3 = \frac{U_\Phi}{Z_\Phi + Z_{PE} + \frac{Z_{TP}}{3}}. \quad (1)$$

де Z_Φ і Z_{PE} – повні опори фазного і заземлювального провідників;
 Z_{TP} – повний опір обмотки трансформатора.

Напруга на корпусах ЕУ, підключених до ЕМ, сполучених заземлювальним провідником за наявності однієї ушкодженої установки становить

$$U_K = I_3 Z_{PE}. \quad (2)$$

Для зменшення напруги на заземлювальному провіднику, і відповідно, на корпусах ЕУ під час протікання струму КЗ виконують *повторне* заземлення захисного провідника.

Повторне заземлення – це заземлення, яке виконують на деякій відстані від ФЗ ДЖ між ділянками підключення окремих ЕУ для підвищення безпеки експлуатації ЕУ.

За наявності повторного заземлення напругу на корпусі ЕУ відносно землі за час протікання струму КЗ визначають залежністю:

$$U_{K.П} = \frac{I_3 Z_3 R_{П}}{R_\Phi + R_{П}}, \quad (3)$$

де $R_{П}$ – опір повторного заземлення захисного провідника.

Умова безпеки у цьому разі запишеться як:

$$U_{K.П} = \frac{I_3 Z_3 R_{П}}{R_\Phi + R_{П}} \leq U_{\text{дот. доп.}}. \quad (4)$$

Струм, що протікає через тіло людини, яка доторкається до корпуса пошкодженої електроустановки, визначається за формулою:

$$I_{Л} = \frac{U_K}{R_{Л}}. \quad (5)$$

У ПУЕ передбачено виконувати повторне заземлення на кінцях ПЛ, довжиною понад 200 м, а також на вводах ПЛ у будівлі, ЕУ яких підлягають заземленню. Для повторних заземлювачів можна використовувати природні заземлювачі, а також заземлювачі, призначені для захисту від грозових перенапруг.

Вимоги щодо величини опору повторних заземлювачів наведено у табл.

Таблиця 2. Допустимі значення опору функціональних і повторних заземлювачів

$U_m, В$	$R_{ф доп.}, Ом$		$R_{п доп.}, Ом$	
	еквівалентний з урахуванням штучних заземлень і повторних заземлень PEN (PE)-провідників	виключно штучних заземлювачів	еквівалентний усіх повторних заземлювачів	у тому числі кожного повторного заземлювача
660/380	2	15	5	15
380/220*	4	30	10	30
220/127	8	60	20	60

До схеми заземлення у ПУЕ встановлено такі вимоги:

- 1 Струм однофазного короткого замикання повинен перевищувати не менш ніж в 3 рази номінальний струм плавкої вставки або струм спрацьовування розщиплювача автоматичного вимикача зі зворотною залежною характеристикою. При захисті ЕМ автоматичними вимикачами, які мають тільки електромагнітний розщиплювач, кратність струму приймається 1,1; за відсутності заводських даних коефіцієнт приймається 1,4 для автоматів з номінальним струмом до 100 А – 1,3, для інших – 1,25.
- 2 Повна провідність нейтрального і захисного провідників у всіх випадках повинна дорівнювати провідності фазного провідника.
- 3 Запобіжники і вимикачі не встановлюють у нейтральні і захисні провідники, щоб забезпечити безперервність кола заземлення. Виняток допускається тільки в тому випадку, коли вимикач разом з нейтральним провідником розмикає й усі фазні провідники.

4. Методика розрахунку захисного заземлення електроустановок напругою до 1 000 В з глухозаземленою нейтраллю

4.1. Вихідні дані для розрахунку заземлення

Алгоритм розрахунку заземлення у мережах напругою до 1 000 В з глухозаземленою нейтраллю (система TN) має таку послідовність:

- розрахунок на вимикаючу здатність ;
- розрахунок напруги на корпусі ЕУ за тривалістю спрацьовування пристрою максимального струмового захисту (МСЗ);
- розрахунок функціонального заземлення;

– розрахунок повторного заземлення.

Вибір конструкції і розрахунок опору захисного заземлення виконують за наявності такої вихідної інформації:

- напруга мережі;
- конструктивні параметри електричної мережі: вид ліній, матеріал провідників, довжина і площа перерізу провідників ділянок;
- дані про пристрої максимального струмового захисту: вид, $I_{\text{ном}}$;
- дані про трансформатор джерела живлення: вид, напруга, схема з'єднання обмоток, розрахунковий опір.

4.2. Розрахунок на вимикаючу здатність

Такий розрахунок передбачає розрахунок струму однофазного короткого замикання I_3 і співставлення отриманої величини зі значенням номінального струму спрацьовування МСЗ.

Захисне заземлення застосовують у трифазних п'яти (чотири) проводних мережах напругою до 1 000 В з глухозаземленою нейтраллю. Призначення захисного проводу – створення для струму короткого замикання ланки з малим опором для швидкого вимкнення від мережі установки з порушеною ізоляцією. Вимкнення відбувається за умови:

- під час використання плавких вставок

$$I_{\text{КЗ}} \geq K_{\text{с.доп}} \cdot I_{\text{номМСЗ}} \geq 3I_{\text{пл.вст}}^{\text{ном}}, \quad (6)$$

де $K_{\text{с.доп}}$ – допустима кратність струму однофазного короткого замикання;
 $I_{\text{пл.вст}}^{\text{ном}}$ – номінальний струм плавкої вставки;

- під час використання автоматичного пристрою, який відмикає струм короткого замикання

$$I_{\text{КЗ}} \geq 1,25I_{\text{авт}}^{\text{ном}},$$

де $I_{\text{авт}}^{\text{ном}}$ – номінальний струм автоматичного пристрою.

Розрахункова формула для визначення $I_{\text{КЗ}}$ має вигляд:

- для системи електропостачання:

$$I_{\text{КЗ}} = U_{\text{ф}} / \sqrt{(r_{\text{ф}} + r_{\text{PEN}} + r_{\text{ТР}})^2 + (x_{\text{ф}} + x_{\text{PEN}} + x_{\text{ТР}})^2},$$

де $U_{\text{ф}}$ – фазна напруга, В; $r_{\text{ф}}$, $r_{\text{н}}$, $r_{\text{ТР}}$ – відповідно активний опір фазного, нульового проводів і трансформатора, Ом; $x_{\text{ф}}$, $x_{\text{н}}$, $x_{\text{ТР}}$ – відповідно реактивний опір фазного, нульового проводів і трансформатора; r_{PEN} , x_{PEN} – відповідно активний і реактивний опори захисного проводу.

- для повітряних мереж (ПЛ):

$$I_{\text{КЗ}} = U_{\text{ф}} / \left(\sqrt{(r_{\text{ф}} + r_{\text{PEN}})^2 + (x_{\text{ф}} + x_{\text{PEN}} + x_{\text{ЗВ}})^2} + Z_{\text{ТР}} / 3 \right),$$

де $x_{зв}$ – зовнішній реактивний опір петлі фаза-нуль; $Z_{тр}$ – повний опір трансформатора, Ом (табл. Б1, Б2);
– для кабельних мереж (КЛ):

$$I_{кз} = U_{\phi} / (r_{\phi} + r_{PEN} + r_{тр} / 3).$$

Значення опорів трансформаторів і проводів ЕМ надано в табл. 3–5.

Таблиця 3. Повний опір масляних трансформаторів.

Первина напруга 6, 10 кВ, вторинна напруга 400/230 В.

Потужність трансформатору, кВА	$Z_{тр}$ при схемі з'єднання обмоток	
	зірка	трикутник
25	3,11	0,91
40	1,95	0,56
63	1,24	0,36
100	0,80	0,23
160	0,49	0,14
250	0,31	0,09
400	0,195	0,06
630	0,13	0,04
1000	0,08	0,03

Таблиця 4. Повний опір сухих трансформаторів

Потужність трансформатору, кВА	$Z_{тр}$ при схемі з'єднання обмоток	
	зірка	трикутник
160	-	0,165
180	0,450	-
250	-	0,105
320	0,183	-
400	-	0,066
560	0,132	-
630	-	0,042
750	0,108	-
1000	-	0,027

У разі використання трансформаторів з вторинною напругою U_{ϕ}' , яка відрізняється від 230 В, наведений розрахунковий опір необхідно помножити на коефіцієнт $(U_{\phi}'/230)^2$.

Активний і зовнішній реактивні опори фазного і захисного або нейтрального провідників, виконаних із кольорових металів, визначають за величинами опору r' і x' (табл. 5) та довжини – l , м:

$$X = x' \cdot l; \quad R = r' \cdot l.$$

Таблиця 5. Активні та індуктивні опори повітряних і кабельних ліній

Площа перерізу, мм ²	Активний опір, Ом/км		Індуктивний опір ПЛ, Ом/км, за середньої відстані між проводами, мм					Індуктивний опір КЛ, Ом/км
	Cu	Al, ACl	800	1000	1500	2000	2500	
10	1,64	3,14	—	—	—	—	—	0,07
16	1,2	1,96	0,374	0,389	0,411	0,48	0,442	0,07
25	0,74	1,27	0,362	0,376	0,398	0,407	0,417	0,07
35	0,54	0,91	0,349	0,364	0,388	0,404	0,412	0,06
50	0,39	0,63	0,339	0,354	0,377	0,395	0,409	0,06
70	0,28	0,45	0,329	0,343	0,367	0,385	0,399	0,06
95	0,2	0,33	0,318	0,332	0,355	0,374	0,389	0,06
120	0,158	0,27	0,315	0,325	0,349	0,368	0,382	0,06
150	0,123	0,21	0,311	0,315	0,344	0,36	0,374	0,06
185	0,103	0,17	0,298	0,311	0,339	0,355	0,37	0,06
240	0,078	0,131	—	0,304	0,329	0,347	0,361	0,06
300	0,063	0,105	—	0,297	0,322	0,34	0,354	0,06

Примітка: Cu – провідники з міді; Al, ACl – провідники з алюмінію або сталі та алюмінію

Зовнішній індуктивний опір петлі фазний-захисний провідник (Ом/км) визначають за формулою:

$$X_{зв} = l \cdot 0,126 \ln(2D / d),$$

де D і d – відстань між проводами і діаметр проводу відповідно, мм.

Для наближених розрахунків $X_{зв}$ можна приймати: для КЛ – 0,3 Ом/км; для ПЛ – 0,6 Ом/км.

Визначаємо кратність струму однофазного короткого замикання відносно номінального струму пристрою МСЗ, яка має бути не менш як допустима

$$K_C = I_{кз} / I_{номМСЗ} \geq K_{с.доп}.$$

У разі, якщо K_C менше допустимого значення, потрібно або змінити вид пристрою МСЗ (замість плавкої вставки встановити автомат з електромагнітним запобіжником) або збільшити величину струму короткого

замикання, вибравши провідники з більшим перерізом, першочергово для нейтрального або захисного провідника.

4. 3. Розрахунок напруги на корпусі електроустановки

Без повторного заземлення захисного провідника напруга на корпусі U_K ЕУ визначається за формулою:

$$U_K = I_{K3} \cdot Z_3 \leq U_D(t_c), \quad (7)$$

де $U_D(t_c)$ – допустима напруга дотику (табл. 6); Z_3 – повний опір захисного РЕ проводу:

– для ПЛ

$$Z_3 = \sqrt{r_3^2 + x_3^2};$$

– для КЛ

$$Z_3 = r_3.$$

Таблиця 6. Допустимі значення напруги дотику в електроустановках з глухозаземленою або ефективно заземленою нейтраллю

Тривалість дії (не більш як), t_c , с	0,1	0,2	0,5	0,7	0,9	1,0...5,0
Напруга дотику, U_D , В	500	400	200	130	100	65

У разі, якщо умови нерівності (7) не виконуються, тобто

$$U_K > U_D(t_c)$$

потрібно:

- застосувати пристрій МСЗ з меншим часом спрацьовування t_c ;
- зменшити Z_3 , збільшивши площу перерізу захисного проводу;
- застосувати повторне заземлення захисного проводу.

За наявності повторного заземлення захисного проводу напруга на корпусі ЕУ U_K визначається

$$U_K = I_{K3} \cdot \frac{Z_3 \cdot r_{\Pi}}{r_{\Pi} + Z_3} \leq U_D(t_c), \quad (8)$$

де r_{Π} – еквівалентний опір усіх повторних заземлювачів.

Потрібний еквівалентний опір повторного заземлення за умови не перевищення напруги U_D на корпусі ЕУ:

$$r_{\Pi} \leq \frac{U_{\text{д}} \cdot Z_3}{(I_{\text{кз}} Z_3 - U_{\text{д}})}.$$

Повторне заземлення конструктивно виконують вертикальними заземлювачами, кількість яких визначають за формулою:

$$r_{\Pi} \leq R_{\text{в1}} / n,$$

Де $R_{\text{в1}}$ – опір вертикального заземлювача; n – кількість повторних заземлювачів.

Завдання на виконання роботи

1. Дослідити залежність змінення струму, який протікає через тіло людини, та напругу дотику від опору витоку мережі під час пошкодження ізоляції ЕУ за відсутності та за наявності заземлюючого проводу. Результати записати у табл. 7.

Таблиця 7. Параметри мережі та режимів.

Характеристика заземлення корпусу	$R_{\text{л}}$, кОм	r , кОм	C , мкФ	$I_{\text{л}}$, мА	$U_{\text{л}}$, В
1. Корпус незаземлений		0			
		1			
		2			
		5			
		10			
		400			
2. Корпус з'єднаний із заземлювачем, опір якого більше норми		0			
		1			
		2			
		5			
		10			
		400			
3. Корпус з'єднаний із заземлювачем, опір якого відповідає нормі		0			
		1			
		2			
		5			
		10			
		400			

2. Побудувати графіки залежностей $I_{\text{л}} = f(r)$ та $U_{\text{л}} = f(r)$ для випадків дотику до незаземленого корпусу, заземленого з великим опором заземлення та з опором

заземлення, відповідним нормі. Залежність $I_{\text{л}} = f(r)$ для усіх трьох випадків побудувати на одному графіку, а $U_{\text{л}} = f(r)$ – на іншому.

3. Визначити величину струму, що протікає через тіло людини, і напругу під час доторкання до корпусу обладнання при заземленій нейтралі мережі живлення. Результати записати у табл. 8.

Таблиця 8. Струм і напруга непрямого дотику за наявності захисного заземлення

Режим дослідження	I_0 , мА	$I_{\text{л}}$, мА	$U_{\text{л}}$, В
1. Корпус незаземлений			
2. Корпус з'єднаний із заземлювачем, опір якого більше норми			
3. Корпус з'єднаний із заземлювачем, опір якого відповідає нормі			

4. Визначити величину струму, що протікає через тіло людини, і напругу непрямого дотику за однократного і повторного заземлення нейтралі мережі живлення. Результати записати у табл. 9.

Таблиця 9. Струм і напруга непрямого дотику за наявності повторного захисного заземлення

Режим дослідження	I_0 , мА	$I_{\text{л}}$, мА	$U_{\text{л}}$, В
1. Корпус заземлений			
2. Корпус заземлений, нейтральний провід повторно заземлений з опором заземлення значно більшим норми			
3. Корпус заземлений, нейтральний провід повторно заземлений з опором заземлення, що відповідає нормі			

5. Сформулювати висновки за результатами досліджень

Послідовність виконання роботи

1. Ознайомитися з електричною схемою і змістом роботи (рис. 2)..

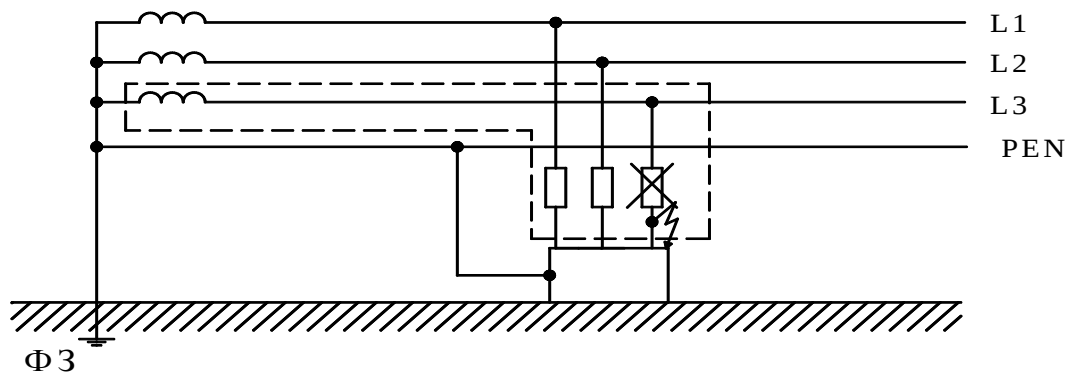


Рис. 2. Схема захисного заземлення у мережі з глухозаземленою нейтраллю ДЖ напругою до 1 кВ (підсистема TN-C).

2. Заземлити нейтральну точку джерела живлення (трансформатора) вибраною величиною опору.
3. Натиснути кнопку «замикання» і записати показники міліамперметра і вольтметра.
4. Приєднати корпус ЕУ до заземлюючого пристрою з великим опором. Записати показники приборів.
5. Приєднати корпус ЕУ до заземлюючого пристрою з нормованим опором. Записати показники приборів.
6. Повторно заземлити нульовий провід опором, який суттєво перевищує нормоване значення. Записати показники приборів.
7. Повторно заземлити нульовий провід опором, який відповідає нормованому значенню. Записати показники приборів.
8. Стенда вимкнути. Всі перемикачі і тумблери повернути у вихідне положення.
9. Проаналізувати отримані експериментальні данні і порівняти їх з теоретичними розрахунками.

Контрольні запитання

1. Які використовують схеми захисного заземлення в електроустановках напругою до 1000 В.
2. Від яких величин залежить струм однофазного замикання на корпус ЕУ.
3. Яке призначення захисного заземлення в мережах до 1000 В.
4. Пояснити принцип дії захисного заземлення.
5. Пояснити потребу у використанні повторного заземлення нульового проводу.
6. З яких міркувань визначають потрібний опір захисного проводу.
7. Які вимоги висувають до схеми захисного заземлення.
8. Пояснити конструктивні особливості і вимоги до захисного заземлення.

Список літературних джерел

- 1 Ткачук К.Н. Охорона праці і промислова безпека / К.Н. Ткачук, В.В. Зацарний, М.Ф. Каштанов, Л.Д. Третьякова та ін. // К.: Лібра, 2010. – 425 с.
- 2 НПАОП 40.1-1.01-97 (ДНАОП 1.1.10-1.01-97). Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Встановлено вимоги щодо безпечної експлуатації електроустановок напругою до 500 кВ.
- 3 ДНАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Визначає вимоги з безпечної експлуатації електроустановок споживачів напругою до 220 кВ.
- 4 Рекомендації щодо організації роботи кабінету промислової безпеки та охорони праці. Затверджені Головою Держгірпромнагляду 16.01.2008 р.
- 5 Перелік професій, виробництв та організацій, працівники яких підлягають обов'язковим профілактичним медичним оглядам. Постанова Кабінету Міністрів України від 23 травня 2001 р. № 559.
- 6 НПАОП 0.00-8.24-05. Перелік робіт з підвищеною небезпекою. Наказ Держнаглядохоронпраці від 26.01.2005 р. № 15.
- 7 Перелік робіт, де є потреба у професійному доборі. Наказ МОЗ України та Держнаглядохоронпраці України від 23.09.1994 р. № 263/121.

Лабораторна робота 4

Організація безпечної експлуатації електроустановок

Мета заняття: вивчення організаційних заходів безпечної експлуатації діючих електроустановок.

Завдання дослідження

- 1 Вивчення загальних положень щодо організації безпечної експлуатації електроустановок.
- 2 Ознайомлення з вимогами до працівників, які обслуговують електроустановки.
- 3 Ознайомлення з видами робіт під час експлуатації електроустановок.
- 4 Вивчення організаційних заходів з електробезпеки.
- 5 Оформлення документів, які дозволяють виконання робіт в електроустановках.

Основні поняття і визначення

Таблиця 1. Назва, скорочення і визначення теоретичних положень з охорони праці

Назва, скорочення	Визначення
Небезпечні і шкідливі виробничі чинники (НШВЧ)	Небажане явище, яке супроводжує виробничий процес і вплив якого на працівника може призвести до погіршення самопочуття, зниження працездатності, виникнення виробничозумовленого чи професійного захворювання або втрати працездатності і навіть до раптової смерті
Нещасний випадок на виробництві	Обмежена в часі подія або раптовий вплив на працівника НШВЧ, що сталася у процесі виконання ним трудових обов'язків, внаслідок яких завдано шкоди здоров'ю або настала смерть.
Виробнича травма	Пошкодження тканин, порушення анатомічної цілісності організму людини або його функцій внаслідок впливу НШВЧ. Виробнича травма є наслідком нещасного випадку на виробництві.
Електроустановка (ЕУ)	Енергетична установка, призначена до виробництва, перетворення, передавання, розподілення чи споживання електроенергії

Закрите розподільче устаткування (ЗРУ)	ЕУ, захищені будівлею від атмосферного впливу;
Відкрите розподільче устаткування (ВРУ)	ЕУ, не захищені будівлею від атмосферного впливу.
Адміністративно-технічні працівники	Керівники підприємств, установ та організацій, їх заступники, начальники цехів, відділів, служб, районів, ділень, лабораторій та їх заступники, майстри, інженери та інші посадові особи, на яких покладено адміністративні функції.
Працівники електротехнічні	Працівники, посада або професія яких пов'язана з обслуговуванням ЕУ.
Працівники електротехнологічні	Працівники, посада або професія яких пов'язана з обслуговуванням технологічних процесів, які відбуваються з використанням електричної енергії, або зі застосуванням електричного інструменту, переносних електричних машин, електрозварювального устаткування під час виконання робіт, але не пов'язана з ремонтом і технічним обслуговуванням ЕУ
Працівники оперативні (чергові)	Працівники, які перебувають на чергуванні у зміні і допущені до оперативного управління та (або) оперативних перемикачів
Працівники виробничі (ремонтні)	Працівники, навчені і допущені до ремонту та обслуговування обладнання, пристроїв, вторинних кіл та пристроїв диспетчерського і технологічного керування в ЕУ
Працівники оперативно-виробничі (ремонтні)	Виробничі працівники, спеціально навчені і підготовлені для оперативного обслуговування в затвердженому обсязі закріплених за ними ЕУ
Група з електробезпеки (ГЕ)	ГЕ видається після здачі кваліфікаційного екзамену.
Працівник з групою ГЕ II, III тощо	Працівник, який має групу з електробезпеки не нижче II, III тощо
Бригада (за нарядом або розпорядженням)	Два і більше працівників, включно з керівником робіт або наглядачем
Оперативне обслуговування ЕУ	Комплекс робіт з: – впровадження нормального режиму роботи ЕУ; – здійснення перемикачів, оглядів обладнання; – підготовки до ремонту (підготовки

	робочого місця, допуск); – технічного обслуговування обладнання, які передбачено інструкціями підприємства
Оперативно-виїзна бригада (ОВБ)	Виїзна бригада оперативних чергових працівників, які мають потрібну групу допуску і допущені до виконання оперативних перемикань та окремих видів ремонтних робіт, передбачених виробничими інструкціями
Робота під напругою	Робота, яка виконується з дотиком до струмовідних частин, які перебувають під напругою або на відстанях до цих струмовідних частин, менших від допустимих
Роботи ремонтні (ремонт)	Комплекс робіт з відновлення справності і працездатності обладнання і пристроїв. До ремонтних робіт, окрім відновлювальних, належать всі види періодичних випробувань ЕУ, налагоджувальні роботи й окремі види технічного обслуговування, які передбачено у переліку регламентних робіт
Нарядно-допускна система	Комплекс заходів, який розроблено для безпечного виконання робіт в ЕУ.
Роботи, які виконують у порядку поточної експлуатації	Виконання працівниками робіт на закріплених за ними ділянці впродовж одного робочого дня, яке не потребує оформлення наряду або розпорядження
Наряд-допуск (наряд)	Складене на спеціальному бланку завдання на безпечне виконання робіт, де визначено їхній зміст, місце, час початку і закінчення, необхідні заходи безпеки, склад бригади та осіб, відповідальних за безпечне виконання робіт
Розпорядження	Завдання на безпечне виконання роботи, яке визначає її зміст, місце, тривалість, заходи безпеки й осіб, яким доручено її виконання. Реєструють у журналі
Підготовка робочого місця	Виконання до початку робіт технічних заходів для попередження дії на працівників НШВЧ на робочому місці
Переносне заземлення (ПЗ)	Конструкцію виконано з мідного гнучкого неізолюваного проводу та приєднувальних клем. ПЗ призначено для з'єднування накоротко і приєднання до захисного заземлювача вимкнених струмовідних частин. Захищають місце роботи в разі помилкової подачі напруги. Накладають з усіх боків

	робочого місця, звідки можна включити напругу.
--	--

Теоретичні положення

1. Основні вимоги до працівників

Працівників, які обслуговують ЕУ, поділяють на дві групи: працівники електротехнічні і працівники електротехнологічні. Електротехнічні працівники поділяють на:

- адміністративно-технічні – керівники підприємств, начальники цехів, служб, відділів, дільниць, лабораторій, їх заступники, на яких покладені адміністративні функції;
- оперативні – працівники, котрі перебувають на чергуванні у зміні і допущені до оперативного керування та оперативних перемикань;
- виробничі – працівники, котрі забезпечують виробничий процес, експлуатацію, ремонт, монтаж, а також працівники, робота яких пов'язана з виробничим процесом;
- оперативно-виробничі – виробничі працівники, котрі підготовані до оперативного обслуговування ЕУ.

До електротехнічних працівників висувають вимоги: за віком, щодо здоров'я та рівня обізнаності. Перед прийняттям на роботу працівників віком більш як 18 років і періодично через два роки електротехнічні працівники проходять медогляд. До роботи в ЕУ не допускаються особи, що мають гостроту зору та слуху нижчу певного рівня, а також захворювання серця, дихальних шляхів, нервової системи, крові, шкіри та ін. Медичний, наркологічний огляд працівників проводиться відповідно до порядку, що встановлено Міністерством охорони здоров'я України.

Працівники, які обслуговують ЕУ, повинні мати відповідну групу з електробезпеки (ГЕ). Не дозволяється допуск до роботи працівників, які не пройшли навчання і перевірку знань з питань охорони праці та пожежної безпеки, а також у разі закінчення терміну дії попередніх періодичних перевірок знань або медичних оглядів.

Всього є п'ять (I–V) кваліфікаційних ГЕ. Для одержання групи I, незалежно від посади і фаху, необхідно пройти інструктаж з електробезпеки під час роботи на підприємстві з оформленням у журналі реєстрації інструктажів. Для роботи в ЕУ напругою до 1 кВ працівник повинен мати III групу, в мережах напругою більш як 1 кВ – IV або V групи. Для отримання груп II і III працівники мають:

- чітко усвідомлювати небезпеку, пов'язану з роботою в ЕУ;
- знати та вміти застосовувати на практиці правила безпеки в обсязі, потрібному для виконання роботи;
- знати будову ЕУ;
- вміти практично надавати першу допомогу потерпілим у разі нещасних випадків, у т.ч. застосовувати способи реанімації.

Для одержання груп IV і V додатково необхідно знати розміщення, схеми і будову усіх ЕУ на енергопідприємстві, а також уміти організовувати безпечно проведення робіт і навчати працівників інших груп Правилам безпеки і наданню першої допомоги потерпілим.

Для отримання групи V додатково потрібно розуміти, які чинники можуть призводити до виникнення нещасних випадків на виробництві і чим зумовлено вимоги до послідовності організації безпечних робіт в ЕУ.

Працівники перед допуском до самостійної роботи повинні бути навчені прийомам звільнення постраждалих від дії електричного струму та надання першої допомоги в разі нещасних випадків.

Працівники, які допускаються до виконання спеціальних робіт, повинні додатково пройти спеціальне навчання і перевірку знань з подальшим наданням у посвідченні права виконання таких робіт. До спеціальних робіт в ЕУ належать:

- роботи на висоті більш як 1,3 м;
- роботи під напругою на струмовідних частинах (обмивання і чищення ізоляторів, ремонт проводів, контроль вимірювальною штангою ізоляторів і з'єднувальних елементів, змащування тросів);
- випробування обладнання підвищеною напругою (за винятком робіт з мегомметром);
- роботи під наведеною напругою;
- роботи з обслуговування повітряних ліній (ПЛ) з ізолюючим покриттям;
- роботи з відкритим вогнем;
- роботи в приміщеннях з акумуляторними батареями.

2. Експлуатація діючих електроустановок

Робота у ЕУ стосовно заходів безпеки поділяється на три категорії:

- *зі зняттям напруги* – це роботи, що проводяться в ЕУ чи її частині, в якій зі струмовідних частин знято напругу та доступ в ЕУ чи їх частини, що знаходяться під напругою, унеможливлено;
- *без зняття напруги на струмовідних частинах та поблизу них* – це роботи, що проводяться безпосередньо на струмовідних частинах або на відстанях від всіх частинах, менших допустимих (табл. 2);
- *без зняття напруги та віддалік від струмовідних частин, що перебувають під напругою* – це роботи, під час яких є неможливим випадкове наближення працівників та працівника з інструментом до струмовідних частин на відстань, меншу допустимої.

Експлуатацію діючих ЕУ поділяють на оперативне обслуговування та виконання робіт. Оперативне обслуговування містить такі операції:

- впровадження потрібного режиму роботи ЕУ;
- проведення перемикачів та оглядів обладнання;
- підготовка до проведення ремонту (підготовка робочого місця, допуск);
- технічне обслуговування окремого обладнання, передбачене виробничими інструкціями.

Виконання робіт – це такі роботи:

- ремонтні роботи – комплекс робіт з відновлення справності та працездатності обладнання: відновлення, випробування, налагодження;
- технічне обслуговування – комплекс робіт з підтримки працездатності обладнання в період його застосування: випробування, підтяжка контактних з'єднань, доливання ізоляційного масла, контроль ізоляції.

3. Оперативне обслуговування, огляди та порядок виконання робіт

Оперативне обслуговування. В ЕУ напругою до 1000 В працівники зі складу оперативних або оперативно-виробничих працівників, які обслуговують ЕУ, включно з працівниками, які одноособово обслуговують ЕУ, повинні мати III GE. В ЕУ напругою понад 1000 В працівники зі складу оперативних або оперативно-виробничих працівників, які одноособово обслуговують ЕУ, а також старші в зміні повинні мати групу IV, решта – III GE.

В ЕУ не дозволяється наближення працівників, пристосувань, механізмів і вантажопідіймальних машин до негороджених струмовідних частин, що перебувають під напругою, на відстані, менші за вказані в таблиці 2.

Таблиця 2. Допустима відстань до струмовідних частин, що перебувають під напругою

Напруга, кВ	Відстань від людини в будь-якому можливому її положенні та інструментів і пристосувань, що нею використовуються, м	Відстань від механізмів та вантажопідіймальних машин у робочому та транспортному положеннях, від стропів, вантажозахватних пристосувань та вантажів, м
До 1:		
на ПЛ	0,6	1,0
У решті ЕУ	не нормується (без дотику)	1,0
3, 6, 10, 20, 35	0,6	1,0
60, 110	1,0	1,5
154	1,5	2,0
220	2,0	2,5
330	2,5	3,5
400, 500	3,5	4,5
750	5,0	6,0
800 постійного струму	3,5	4,5

Огляд ЕУ, електротехнічних частин технологічного обладнання може виконувати один працівник з групою III зі складу оперативних або оперативно-виробничих працівників чи працівник зі складу керівників і спеціалістів підприємства з групою V в ЕУ понад 1000 В і з групою IV в ЕУ до 1000 В.

Дозвіл на проведення огляду видається особою, в управлінні якої перебуває електроустановка (відповідальний за електрогосподарство).

В ЕУ до 1000 В під час огляду дозволяється відчиняти двері щитів, збірок, пультів керування та інших пристроїв. В ЕУ понад 1000 В, у яких вхід до приміщень, комірок обладнано огороженнями або бар'єрами, під час огляду не дозволяється відчиняти двері огорожень і проникати за огороження або бар'єри.

В ЕУ 3 – 35 кВ не дозволяється наближатися до виявленого місця замикання на землю на відстань менше 4 м у ЗРУ та менше 8 м у ВРУ та на ПЛ. Наближатися до місця замикання на землю в цих ЕУ допускається тільки для знімання напруги та звільнення людей, які потрапили під напругу. У цьому разі слід користуватися електрозахисними засобами.

У разі нещасних випадків для звільнення потерпілого від дії електричного струму слід негайно зняти напругу без попереднього дозволу.

Ключі від ЕУ всіх класів напруги повинні перебувати на зберіганні та обліку у адміністративно-технічних працівників. Ключі повинні бути пронумеровані. Ключі слід повертати кожного дня після завершення огляду або роботи. Видавання та повернення ключів слід реєструвати в журналі довільної форми або в оперативному журналі.

Порядок виконання робіт.

Роботи в діючих ЕУ здійснюються за нарядами-допусками (далі - наряд), розпорядженнями або в порядку поточної експлуатації. Форму наряду наведено у табл. 4 – 8.

а підприємствах складають і затверджують наказом переліки робіт, які виконуються за розпорядженнями та у порядку поточної експлуатації. Роботи, що не ввійшли до вищезазначених переліків, слід виконувати за нарядами.

В ЕУ до 1000 В електростанцій, підстанцій і на кабельній лінії електропередавання (далі – КЛ) під час виконання роботи під напругою необхідно:

- відгородити розташовані поблизу робочого місця струмовідні частини, що перебувають під напругою, до яких можливий випадковий дотик;
- працювати в діелектричному взутті або стоячи на ізолюванні підставці чи на гумовому діелектричному килимку;
- застосовувати інструмент з ізолюваними рукоятками (у викруток повинен бути ізолюваний стержень).

Не дозволяється працювати в не застебнутому одязі або в одязі з короткими чи закрученими рукавами, користуватися ножівками, металевими метрами тощо.

В ЕУ понад 1000 В під час проведення робіт на струмовідних частинах, що перебувають під напругою, з використанням захисних ізолюючих засобів необхідно:

- користуватися тільки випробуваними сухими та чистими ізолюючими засобами з непошкодженим лаковим покриттям;
- тримати ізолюючі засоби за ручки-захвати не далі обмежувального кільця;

– розміщувати ізолюючі засоби так, щоб не виникала небезпека перекриття між фазами або фази на землю.

Під час виконання роботи із застосуванням електрозахисних засобів (ізолюючі штанги, електровимірювальні штанги та кліщі, покажчики напруги) дозволяється наближатися до струмовідних частин на відстань, визначену довжиною їхньої ізолюючої частини. Торкатися ізоляторів, ізолюючих частин обладнання, яке перебуває під напругою, можна *тільки у електрозахисних засобах*.

Виконувати роботи можна тільки *в освітлених місцях*. Освітлення робочих місць, під'їздів і проходів до них повинне бути рівномірним, без осліплюючої дії на працівників.

У разі наближення грози слід припинити всі роботи на ПЛ, повітряних лініях зв'язку (далі – ПЛЗ); у ВРУ, ЗРУ, на виводах та лінійних роз'єднувачах ПЛ; на КЛ, під'єднаних до ПЛ, а також на вводах ПЛЗ у приміщеннях вузлів зв'язку та на антенно-щоголових спорудах.

4. Організаційні заходи

Організаційні заходи, які захищають працівників під час роботи, визначають певний порядок виконання роботи в ЕУ. Роботи в ЕУ щодо їх *організації* поділяють на такі, які виконують:

- за нарядом-допуском;
- за розпорядженням;
- у порядку поточної експлуатації.

Порядок виконання організаційних заходів формують на підприємстві відповідно до положень нормативних документів і він має таку послідовність.

4.1. Затвердження переліку робіт, що виконуються за розпорядженнями і в порядку поточної експлуатації.

4.2. Надання прав і затвердження списків осіб, відповідальних за безпечне виконання робіт у тому числі:

- видавання нарядів, розпоряджень;
- керівників робіт;
- допускачів;
- наглядачів;
- проведення оперативних перемикань;
- видавання дозволів на підготовку робочих місць і на допуск до роботи;
- одноособовий огляд ЕУ;
- працівників, що виконують роботи в порядку поточної експлуатації.

Надання вищезазначених прав здійснюється після перевірки знань з електробезпеки. Списки відповідальних осіб затверджують наказом на підприємстві. Ці списки повинні бути на робочих місцях працівників, які дають дозвіл на підготовку робочих місць і допуск.

4.3. Під час виконання робіт за нарядами або розпорядженнями повинно бути виконано:

- видавання нарядів, розпоряджень;
- видавання дозволу на підготовку робочих місць та на допуск до роботи;
- підготовка робочого місця і допуск до роботи;
- нагляд під час виконання робіт;
- переведення на інше робоче місце;
- оформлення перерв у роботі та її закінчення.

Особами, відповідальними за безпечне виконання робіт є:

- працівник, який видає наряд або розпорядження;
- працівник, який дає дозвіл на підготовку робочих місць і на допуск до роботи;
- працівник, який готує робоче місце;
- особа яка відповідає до допуск бригади до робіт (допускач);
- керівник робіт;
- наглядач;
- працівник, який виконує роботу.

Працівник, який видає наряд або розпорядження на виконання робіт, установлює можливість безпечного виконання роботи. Він відповідає за достатність і правильність указаних у наряді (розпорядженні) заходів безпеки, за якісний і кількісний склад бригади і призначення працівників, відповідальних за безпечне проведення робіт, а також відповідність груп з електробезпеки працівників, які зазначені в наряді (розпорядженні), роботі, що доручається. Право видавання нарядів та розпоряджень надається адміністративно-технічним працівникам підприємства, які мають GE V – в ЕУ понад 1000 В та GE IV – в ЕУ до 1000 В.

Працівник, який дає дозвіл на підготовку робочих місць і на допуск до роботи, несе відповідальність за достатність передбачених нарядом, розпорядженням заходів з вимкнення та заземлення устаткування і за можливість їх здійснення, а також за координацію часу і місця роботи бригад, що допускаються. Давати дозвіл на підготовку робочих місць і на допуск до роботи мають право оперативні працівники. В ЕУ, які не обслуговують оперативні, оперативно-виробничі працівники, дозвіл на підготовку робочих місць і на допуск до роботи можуть давати адміністративно-технічні працівники, котрі мають право видавати наряд або розпорядження. Такі працівники повинні мати GE V – в ЕУ понад 1000 В і GE IV – в ЕУ до 1000 В.

Працівник, який готує робоче місце, відповідає за правильне і повне виконання заходів щодо підготовки робочого місця, визначених в наряді (розпорядженні), а також тих, які вимагаються умовами роботи (установлення замків, плакатів, огорожень тощо). Підготовку робочого місця можна розпочинати лише за умови одержання дозволу від працівника, який дає дозвіл на підготовку робочих місць і на допуск до роботи. Готувати робоче місце мають право оперативні, оперативно-виробничі працівники, які допущені до оперативних перемикачів у даній ЕУ.

Допускач відповідає за повноту і правильність виконання заходів безпеки, зазначених у наряді або розпорядженні, за правильний допуск до роботи та якість проведеного ним інструктажу. Допускачами призначають оперативні, оперативно-виробничі або інші працівники, яким надано право оперативних перемикачів. На ПЛ 35 кВ та вище допускачами можуть призначатися керівники робіт зі складу виробничих працівників. В ЕУ понад 1000 В допускачі повинні мати GE IV, а в ЕУ до 1000 В – GE III.

Керівник робіт призначається у разі виконання робіт за нарядами і розпорядженнями, окрім тих, що виконуються одноособово. Керівник робіт повинен мати IV GE під час виконання робіт в ЕУ понад 1000 В і GE III – в ЕУ до 1000 В. У разі виконання найбільш складних і небезпечних робіт слід призначати працівників з групою V зі складу адміністративно-технічних працівників, які обслуговують дану електроустановку.

Керівник робіт відповідає за:

- виконання заходів безпеки, передбачених нарядом або розпорядженням та їх достатність, а також пожежної безпеки в разі виконання вогневих робіт;
- чіткість та вичерпність інструктажу членів бригади;
- наявність, справність та правильність використання необхідних засобів захисту, інструменту, інвентарю;
- наявність та збереження встановлених на робочому місці заземлень, огорожень, знаків та плакатів безпеки і замикальних пристроїв;
- організацію та безпечне виконання роботи і дотримання вимог цих Правил ним та членами бригади;
- здійснення постійного контролю за членами бригади;
- відсторонення від роботи членів бригади у разі потреби (з ознаками алкогольного чи наркотичного сп'яніння).

Наглядач призначається для нагляду за бригадами будівельних робітників, різноробочих, такелажників та інших неелектротехнічних працівників, які не мають права самостійно працювати в ЕУ. Наглядач відповідає за:

- безпеку членів бригади від ураження електричним струмом ЕУ;
- відповідність підготовленого робочого місця вимогам наряду;
- наявність та збереження встановлених на робочому місці заземлень, огорожень, плакатів та знаків безпеки, замикальних пристроїв.

4.4 Видавання наряду, розпорядження

Наряд виписується у двох, а, якщо він передається за допомогою засобів зв'язку (телефон, радіо, факс тощо), – у трьох примірниках. У цьому разі працівник, який видає наряд, виписує один примірник, а працівник, який приймає текст, заповнює два примірники наряду і після зворотної перевірки зазначає на місці підпису працівника, який видав наряд, його прізвище та ініціали, підтверджуючи правильність запису власним підписом. Кількість нарядів, що видаються на одного керівника робіт, визначає працівник, який видає наряд. Наряд видається на термін дії заявки, а у разі її відсутності - на *термін не більше 15* календарних днів від дня початку роботи. Наряд можна *продовжити*

один раз на термін не більше 15 календарних днів від дня продовження. Продовжити наряд може працівник, який видав наряд. Наряди, роботи по яких завершені, зберігаються протягом 30 діб.

Розпорядження має разовий характер, термін його дії визначається *тривалістю робочого дня* (зміни) виконавців. Розпорядження на роботу видається керівнику робіт або працівнику, який виконуватиме роботу одноосібно.

Реєстрація нарядів і розпоряджень в журналі обліку робіт здійснюється до початку підготовки робочого місця. Термін зберігання журналу – 6 місяців.

4.5. Склад бригади

Чисельність бригади та її склад з урахуванням кваліфікаційних вимог визначає працівник, який видає наряд (розпорядження), виходячи зі складності роботи, умов її виконання, а також потреби забезпечення повноцінного нагляду за безпечним виконанням робіт усіма членами бригади з боку керівника робіт (наглядача). У разі виконання роботи за нарядом бригада повинна складатися не менше ніж з двох працівників, включно з керівником робіт. До складу бригади з розрахунку на кожного її члена з групою III допускається включати одного працівника з групою II, але загальна кількість членів бригади з групою II має бути не більше ніж дві особи. У разі зміни керівника робіт або зміни складу бригади більше ніж наполовину необхідно видавати новий наряд. Давати дозвіл на підготовку робочих місць та на допуск до роботи можна тільки за умови, що у працівника, який видає цей дозвіл, є оригінал або копія наряду (розпорядження).

4.6. Підготовка робочого місця і допуск до роботи

Підготовка робочого місця полягає у виконанні технічних заходів з вимкнення струмовідних частин, вивішування плакатів, установа огорожень, замків, перевірки відсутності напруги, установа заземлень тощо. Забороняється працювати на ПЛ і ПЛ зі захисним покриттям, які перебувають під напругою, під час туману, дощу, снігопаду, у темний час доби, у разі вітру, який ускладнює проведення робіт на опорі.

Допускач разом з керівником робіт повинні перевірити виконання технічних заходів з підготовки робочого місця (табл. 3).

Таблиця 3. Послідовність виконання технічних заходів під час підготовки робочого місця

Номер заходу	Найменування заходу	Послідовність впровадження заходів
1	Підготовка робочого місця до роботи	Здійснити необхідні вимкнення і заходів, які унеможливають помилкове або самочинне ввімкнення комутаційної апаратури (п. 2)
		Вивісити заборонні плакати на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційною апаратурою (п. 3)
		Перевірити відсутність напруги на струмовідних

		частинах (п. 4)
		Встановити ПЗ (увімкнути заземлюючі ножі, установити переносні заземлення), вивісити вказівні плакати (п. 5)
		Огородити робочі місця та струмовідні частини ЕУ, які залишилися під напругою, і вивісити на огороженнях плакати безпеки. Залежно від місцевих умов струмовідні частини огорожуються до чи після їх заземлення (п. 6).
2	Вимикання (знімання напруги) зі струмовідних частини, на яких виконуватиме роботи	В ЕУ понад 1000 В з кожного боку, звідки комутаційним апаратом може бути подано напругу на робоче місце, повинен бути видимий розрив, створений від'єднанням або зніманням шин і проводів, вимиканням роз'єднувачів, зніманням запобіжників, а також вимкненням відокремлювачів та вимикачів навантаження.
		В ЕУ до 1000 В з усіх боків струмовідних частин, на яких проводитиметься робота, напруга має бути знята шляхом вимкнення комутаційних апаратів з ручним приводом, а за наявності в схемі запобіжників – шляхом зняття останніх. У разі відсутності в схемі запобіжників запобігання помилковому ввімкненню комутаційних апаратів має бути забезпечене такими заходами, як замикання рукояток або дверцят шафи, закриття кнопок, установлення між контактами комутаційного апарату ізолюючих накладок тощо. У разі зняття напруги комутаційним апаратом з дистанційним керуванням необхідно відімкнути вмикальну котушку.
3	Вивішування плакатів безпеки	На приводах роз'єднувачів, відокремлювачів і вимикачів напругою понад 1000 В, на ключах і кнопках дистанційного керування, на комутаційній апаратурі до 1000 В (автоматичні та інші вимикачі, рубильники) слід вивісити плакати «Не вмикати! Працюють люди!».
		У роз'єднувачів, які керуються оперативною штангою, плакати вивішуються на огорожах, а в однополюсних роз'єднувачів – на приводі кожного полюса. У КРУ плакати вивішуються на ключах дистанційного керування.
		На засувках, що закривають доступ повітря у пневматичні приводи комутаційної апаратури вивішується плакат «Не відкривати! Працюють люди!».

		На приєднаннях напругою до 1000 В, які не мають автоматичних та інших вимикачів або рубильників, плакати вивішуються біля знятих запобіжників, у разі установлення яких може бути подано напругу на місце роботи.
4	Перевірка відсутності напруги	Перевіряти відсутність напруги необхідно показчиками відповідного класу напруги, справність яких перед застосуванням слід перевірити
		В ЕУ понад 1000 В слід користуватися показчиком напруги, застосовуючи діелектричні рукавички.
		В ЕУ електростанцій та підстанцій перевіряти відсутність напруги дозволяється одному працівнику зі складу оперативних або оперативно-виробничих працівників з ГЕ IV в ЕУ понад 1000 В і з ГЕ III – в ЕУ до 1000 В.
5	Заземлення ЕУ	Встановлювати ПЗ на струмовідні частини вимкненої для робіт ділянки ЕУ необхідно безпосередньо після перевірки відсутності напруги.
		ПЗ спочатку треба приєднати до заземлювального пристрою, а потім, після перевірки відсутності напруги, до струмовідних частин.
		Знімати ПЗ необхідно у зворотній послідовності: спочатку зняти його із струмовідних частин, а потім від'єднати від заземлювального пристрою.
		Установлення і зняття ПЗ слід виконувати в діелектричних рукавичках зі застосуванням в ЕУ понад 1000 В ізолюючої штанги.
6	Обгородження робочого місця	Не вимкнені струмовідні частини ЕУ, які перебувають під напругою і доступні для випадкового доторкання, мають бути на час роботи обгороджені.
		Для тимчасового обгороджування струмовідних частин, які залишилися під напругою, можуть застосовуватися щити, ширми, екрани тощо, виготовлені з ізоляційних матеріалів.
		У разі встановлення тимчасових огорожень відстань від них до струмовідних частин має бути не меншою, ніж зазначена в таблиці 2
		На тимчасовому огороженні слід вивісити плакат «Стій! Напруга!».

5. Організація виконання робіт за нарядом-допуском

Організація виконання робіт за нарядом-допуском передбачає такі етапи:

- 1 Допуск до роботи.
- 2 Нагляд під час виконання робіт.
- 3 Переведення бригади на інше робоче місце.
- 4 Оформлення перерв у роботі.
- 5 Повторний допуск до роботи.
- 6 Закінчення робіт.
- 7 Вмикання ЕУ після повного закінчення робіт.

5.1. Допуск до роботи

Допуск до роботи за нарядами та розпорядженнями слід проводити безпосередньо на робочому місці. Допуск до роботи за розпорядженням у тому разі, якщо підготовка робочого місця не передбачена, проводити на робочому місці не обов'язково. На ПЛ, КЛ, і повітряних лініях зв'язку допуск до роботи не проводять. Допуск проводиться після перевірки виконання технічних заходів з підготовки робочого місця. Допускач перед допуском повинен переконатися у виконанні всіх технічних заходів щодо підготовки робочого місця (особистим оглядом або за записами в оперативному журналі, за оперативною схемою чи за повідомленням чергових, оперативно-виробничих працівників тощо).

Допускач зобов'язаний:

- перевірити відповідність складу бригади зазначеному в наряді або розпорядженні, посвідчення у членів бригади про перевірку знань;
- провести цільовий інструктаж: ознайомити бригаду зі змістом наряду (розпорядження); зазначити межі робочого місця і підходи до нього; показати найближче до робочого місця устаткування та струмовідні частини приєднань, що ремонтуються, та суміжних, до яких не дозволяється наближатися незалежно від того, перебувають вони під напругою чи ні;
- довести бригаді, що напруга відсутня показом установлених заземлень та перевіркою відсутності напруги, якщо заземлення не видно з робочих місць, а в ЕУ 35 кВ і нижче (де дозволяє конструктивне виконання) – наступним дотиком рукою до струмовідних частин після перевірки відсутності напруги;
- після закінчення інструктажу допускач повинен провести усне опитування членів бригади;
- бригаду під час допуску, крім допускача, повинен проінструктувати керівник робіт щодо безпечного виконання робіт, використання інструменту, приладів, механізмів та вантажопідіймальних машин.

Без проведення інструктажу допускати бригаду до роботи не дозволяється.

Проведення цільового інструктажу і допуск оформляються в обох примірниках наряду, з яких один залишається у керівника робіт (наглядача), а другий – у допускача. Цільовий інструктаж під час допуску до робіт за розпорядженнями оформлюється в журналі інструктажів.

5.2 Нагляд під час виконання робіт

Після допуску до роботи нагляд за бригадою щодо виконання вимог безпеки покладається на керівника робіт (наглядача), якому слід так організувати свою роботу, щоб здійснювати контроль за членами бригади, перебуваючи, по змозі, на тій ділянці робочого місця, де виконується найбільш небезпечна робота. Наглядачу не дозволено суміщати нагляд з виконанням будь-якої роботи.

У разі потреби тимчасово залишити робоче місце керівник робіт (наглядач) повинен вивести бригаду з місця роботи (з виведенням її з РУ та замиканням вхідних дверей на замок, зі зніманням працівників з опори ПЛ тощо).

З дозволу керівника робіт один або кілька членів бригади можуть тимчасово залишити робоче місце. У цьому разі виводити їх із складу бригади не потрібно. В ЕУ понад 1000 В повинно бути не менше двох, включно з керівником робіт, членів бригади, які залишились на робочому місці.

Члени бригади з групою III можуть самостійно виходити з РУ і повертатися на робоче місце, члени бригади з групами I і II – тільки в супроводі члена бригади з групою III або працівника, який має право одноособового огляду ЕУ. Члени бригади, які повернулись на робоче місце, можуть стати до роботи тільки з дозволу керівника робіт.

5.3 Переведення бригади на інше робоче місце

В ЕУ понад 1000 В електростанцій та підстанцій переведення бригади на інше робоче місце здійснює допускатч. Переводити бригаду на інше робоче місце може також керівник робіт, якщо про це є запис у рядку «Окремі вказівки» наряду. На різних робочих місцях однієї ПЛ, ПЛ зв'язку, КЛ і в ЕУ до 1000 В електростанцій, підстанцій переведення на інше робоче місце здійснює керівник робіт без оформлення в наряді. Переведення на інше робоче місце оформлюється в таблиці 4 наряду. У разі виконання робіт за розпорядженням оформляти переведення на інше робоче місце не вимагається.

5.4 Оформлення перерв у роботі і повторний допуск до роботи

Під час перерви в роботі протягом робочого дня (на обід, за умовами роботи) бригаду необхідно вивести з робочого місця, а двері ЕУ замкнути на замок. Наряд залишається у керівника робіт (наглядача). Члени бригади не мають права повертатися після перерви на робоче місце без керівника робіт (наглядача). Після перерви керівник робіт зобов'язаний повторно перевірити підготовку робочого місця та здійснити допуск бригади до роботи без оформлення в наряді. У разі перерви в роботі у зв'язку із закінченням робочого дня бригаду необхідно вивести з робочого місця. У цьому випадку плакати, огороження, прапорці та заземлення не знімають.

Закінчення роботи керівник робіт (наглядач) оформлює підписом у своєму примірнику наряду.

Повторний допуск у наступні дні на підготовлене робоче місце здійснює допускатч. У цьому разі дозвіл на допуск до роботи не вимагається. Керівник

робіт (наглядач) може самостійно допустити бригаду до роботи на підготовлене робоче місце, якщо це йому дозволено записом у рядку «Окремі вказівки» наряду. Дозвіл на тимчасове знімання і наступне встановлення заземлень керівником робіт слід записувати в рядку «Окремі вказівки» наряду.

Після повного закінчення роботи керівник робіт (наглядач) повинен:

- забезпечити прибирання робочого місця;
- вивести бригаду з робочого місця;
- зняти встановлені бригадою тимчасові огороження, плакати, прапорці та заземлення;
- замкнути на замок двері приміщень.

5.5. Закінчення робіт

Наряд може бути закритим після огляду устаткування і місць роботи, перевірки відсутності людей, сторонніх предметів, інструменту на робочих місцях і в разі належної чистоти. Після оформлення повного закінчення робіт керівник робіт (наглядач) повинен здати наряд до пускачу. Допускач після отримання наряду, у якому оформлено повне закінчення робіт, повинен оглянути робочі місця, повідомити працівника, який дає дозвіл на підготовку робочого місця і на допуск, про повне закінчення та можливість увімкнення ЕУ. Закінчення роботи за нарядом або розпорядженням необхідно оформити в Журналі обліку робіт за нарядами і розпорядженнями.

5.6 Вмикання ЕУ після повного закінчення робіт

ЕУ можна ввімкнути у роботу після повного закінчення робіт. Вмикати ЕУ можна після одержання на це дозволу оперативного працівника або працівника, який має право віддавати розпорядження на оперативне обслуговування даної ЕУ. Дозвіл на ввімкнення ЕУ в роботу може бути виданий після одержання повідомлень від усіх допускачів і керівників робіт про повне закінчення робіт на даній ЕУ. Право на ввімкнення ЕУ після повного закінчення робіт може бути надано допускачеві зі складу оперативно-виробничих працівників. Надання прав на таке ввімкнення має бути записано в рядку наряду «Окремі вказівки».

6. Організація виконання робіт за розпорядженнями

За розпорядженням допускається виконувати в ЕУ напругою до і понад 1000 В невідкладні роботи тривалістю *не більше однієї години* без урахування часу на підготовку робочого місця. Ці роботи можуть виконувати оперативні та оперативно-виробничі працівники або під їх наглядом виробничі працівники. При цьому склад бригади не повинен бути більше трьох осіб, включно з працівником, який здійснює нагляд. Не дозволяється змінювати склад бригади, яка працює за розпорядженням.

На ПЛ за розпорядженням дозволяється виконувати роботи на струмопровідних (неструмівідних) частинах, що не потребують знімання напруги, у тому числі роботи:

- з підніманням на опору до 3 м від рівня землі, відраховуючи від ніг людини;
- без розбирання конструктивних частин опори;
- з відкопуванням стояків опори на глибину до 0,5 м;
- з розчищенням траси ПЛ, коли не потрібно вживати заходів, що запобігають падінню дерев, які вирубуються, на проводи і не пов'язані з небезпечним наближенням людей до проводів.

В ЕУ напругою до і понад 1000 В оперативним, оперативно-виробничим працівникам, або під їх наглядом виробничим за розпорядженням дозволяється виконувати такі роботи:

- від'єднання і приєднання кабелю до електродвигуна, заміна запобіжників, перемикачів відгалужень на силовому трансформаторі, підтягування і зачищення одиночних контактів на шинах і обладнанні, відбирання проб і доливання масла в маслонаповнені вводи й усунення витікання масла з них, доливання масла в окремі апарати, якщо конструкція устаткування і наявність спеціальних пристосувань дозволяє безпечно виконувати ці роботи;
- фазування, перевірка цілісності кіл КЛ, перевірка нагрівання і вібрацій струмовідних частин, вимірювання електровимірювальними приладами;
- вимірювання опору ізоляції мегомметром;
- роботу на кожухах устаткування, очищення і дрібний ремонт арматури кожуха, протирання масломірного скла на розширювачах трансформаторів і на баках вимикачів, які не перебувають під напругою, приєднання апаратури для сушіння і очищення масла, одиночні операції з контролю ізоляторів і з'єднувальних затискачів штангою, вимірювання під час перевірки фільтрів приєднання високочастотних каналів, установлених на ПЛ напругою понад 1000 В.

Оперативний або оперативно-виробничий працівник, який виконує роботу або здійснює нагляд за працюючими в ЕУ напругою понад 1000 В повинен мати IV групу, а в ЕУ до 1000 В – III групу. Члени бригади, які працюють в ЕУ до і понад 1000 В, повинні мати групу II. Кількість працюючих повинна бути не менше двох осіб, включно з працівником, що здійснює нагляд.

7. Організація виконання робіт у порядку поточної експлуатації

В ЕУ у порядку поточної експлуатації дозволяється електротехнічним працівникам виконувати невеликі за обсягом роботи *протягом робочого дня* (зміни).

До таких робіт належать:

- масові випробування ізоляційних матеріалів, деталей, засобів захисту тощо, які проводяться поза електроустановками понад 1000 В, із застосуванням стаціонарних випробувальних установок, а також роботи з перевірки приладів РЗА та вимірювальних приладів на стаціонарних стендах;
- благоустрій території ВРУ, скошування трави, розчищення від снігу доріг та проходів тощо;
- ремонт і обслуговування пристроїв провідного, радіо і телефонного зв'язку, розміщених поза камерами РУ на висоті не більше 2,5 м;

- поновлення написів на кожухах обладнання і на огороженнях поза камерами РУ;
- спостереження за сушінням трансформаторів, генераторів та іншого обладнання;
- обслуговування маслоочищувальної та іншої допоміжної апаратури під час очищення та осушування масла;
- перевірка повітроочищувальних фільтрів та замінювання сорбентів у них;
- знімання показів електролічильників та інших вимірювальних приладів;
- прибирання приміщень в ЕУ, де струмовідні частини огорожені, а також приміщень щитів керування і релейного захисту тощо;
- огляд ЕУ електростанцій і підстанцій, які проводяться черговим згідно з його функціональними обов'язками;
- тепловізійний контроль контактних з'єднань.

Завдання на виконання роботи

- 1 Сформувати бригади з п'яти студентів. Визначити перелік робіт, які потрібно здійснити.
- 2 Визначити вимоги щодо електротехнічних працівників.
- 3 Заповнити наряд-допуск на виконання робіт (Форма і табл. 1–5).
- 4 Визначити заходи перед початком робіт (табл. 1).
- 5 Визначити потрібні засоби індивідуального захисту і вимірювальні прилади.
- 6 Визначити послідовність підготовки робочого місця (Табл. 2).
- 7 Провести цільовий інструктаж (Табл. 3).
- 8 Оформити перерву у виконанні робіт.
- 9 Оформити закінчення робіт (табл. 4, 5).
- 10 Результати з організації робіт надати викладачу.

Форма наряду-допуску
для виконання робіт в ЕУ

Лицьовий бік наряду

Підприємство _____

Підрозділ _____

Наряд-допуск №
(для виконання робіт в електроустановках)

Керівнику робіт (наглядачу)

(прізвище, ініціали, група з електробезпеки)

Допускачу _____

(прізвище, ініціали, група з електробезпеки)

з членами бригади _____

(прізвище, ініціали, група з електробезпеки)

доручається _____

Роботу почати: дата _____ год _____ хв _____

Роботи закінчити: дата _____ год _____ хв. _____

Таблиця 1. Заходи щодо підготовки робочих місць

Назва електроустановок, у яких треба провести вимкнення і встановити заземлення	Що повинно бути вимкнено і де заземлено
1	2

Окремі вказівки _____

Наряд видав: дата _____ год. _____ хв. _____

Підпис _____ Прізвище, ініціали _____

Наряд продовжив до: дата _____ год. _____ хв. _____

Підпис _____ Прізвище, ініціали _____ дата _____

Таблиця 2. Дозвіл на підготовку робочих місць і на допуск

Дозвіл на підготовку робочих місць і на допуск видав (посада, прізвище або підпис)	Дата, час	Підпис працівника, який отримав дозвіл на підготовку робочих місць і на допуск
1	2	3

Робочі місця підготовлені. Під напругою залишились: _____

Допускач _____

(підпис)

Керівник робіт (наглядач) _____

(підпис)

Зворотний бік наряду

Таблиця 3. Інструктаж членів бригади (цільовий) у разі первинного допуску

Члени бригади (прізвище, ініціали)	Дата, час	Підписи членів бригади, які пройшли інструктаж
1	2	3

Підписи працівників, які провели інструктаж:

Допускач _____

Керівник робіт

(наглядач) _____

Таблиця 4. Щоденний допуск до роботи та її закінчення

Бригада проінструктована і допущена до робочого місця				Робота закінчена, бригада виведена	
Найменування робочого місця	Дата, час	Підписи		Дата, час	Підпис керівника робіт (наглядача)
		Допускача	Керівника робіт (наглядача)		
1	2	3	4	5	6

Таблиця 5. Зміни в складі бригади

Працівник, уведений до складу бригади (прізвище, ініціали, група)	Працівник, виведений зі складу бригади (прізвище, ініціали, група)	Дата, час	Дозволив (підпис)
1	2	3	4

Робота повністю закінчена, бригада виведена, заземлення, установлені бригадою, знято, повідомлено (кому) _____

(посада)

(прізвище, ініціали)

Дата _____ год. _____ хв. _____

Керівник робіт (наглядач) _____

(підпис)

Таблиця 6. Журнал обліку робіт за нарядами і розпорядженнями

Номер наряду		роз- поряд- ження	Місце і назва роботи	Заходи безпеки під час підготовки робочого місяця	Працівник, який дав розпорядження (прізвище, ініціали, група)	Керівник робіт (прізвище, ініціали, група)	Члени бригади (прізвище, ініціали, група)	Дозвіл на підготовку робочого місяця і допуск видав (дата, час, прізвище, ініціали)	Роботу закінчили (дата, час)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Примітка. У разі виконання робіт за нарядами заповнюються тільки граfi 1, 8, 9. У разі виконання робіт за розпорядженням заповнюються граfi 2 - 9.									

Контрольні запитання

- 1 Пояснити різницю в обов'язках адміністративно-технічних, електротехнічних та електротехнологічних працівників.
- 2 Пояснити, які функції виконують оперативні, виробничі та оперативно-виробничі працівники на своїх робочих місцях.
- 3 Визначити перелік вимог до отримання відповідної групи з електробезпеки.
- 4 Який перелік робіт пов'язаний з оперативним обслуговуванням ЕУ.
- 5 Пояснити у чому полягають відмінності під час роботи за нарядом-допуском або розпорядження.
- 6 На які категорії поділяють роботи в ЕУ стосовно заходів безпеки.
- 7 За які заходи відповідає працівник, який видає наряд або розпорядження.
- 8 За які заходи відповідає працівник, який дає дозвіл на підготовку робочих місць і на допуск до роботи.
- 9 За які заходи відповідає працівник, який готує робоче місце, відповідає за правильне і повне виконання заходів з електробезпеки.
- 10 За які заходи відповідає працівник, який допускає до виконання робіт в діючих ЕУ.
- 11 За які заходи відповідає керівник робіт.
- 12 Яку послідовність робіт передбачено за нарядом-допуском.

Перелік літературних джерел

- 1 Ткачук К.Н. Охорона праці і промислова безпека / К.Н. Ткачук, В.В. Зацарний, М.Ф. Каштанов, Л.Д. Третякова та ін. // К.: Лібра, 2010. – 425 с.
- 2 НПАОП 40.1-1.01-97 (ДНАОП 1.1.10-1.01-97). Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Встановлено вимоги щодо безпечної експлуатації електроустановок напругою до 500 кВ.
- 3 ДНАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Визначає вимоги з безпечної експлуатації електроустановок споживачів напругою до 220 кВ.
- 4 Рекомендації щодо організації роботи кабінету промислової безпеки та охорони праці. Затверджені Головою Держгірпромнагляду 16.01.2008 р.
- 5 Перелік професій, виробництв та організацій, працівники яких підлягають обов'язковим профілактичним медичним оглядам. Постанова Кабінету Міністрів України від 23 травня 2001 р. № 559.
- 6 НПАОП 0.00-8.24-05. Перелік робіт з підвищеною небезпекою. Наказ Держнаглядохоронпраці від 26.01.2005 р. № 15.
- 7 Перелік робіт, де є потреба у професійному доборі. Наказ МОЗ України та Держнаглядохоронпраці України від 23.09.1994 р. № 263/121.

Практичне завдання

Способи побудови і методи розрахунку захисного заземлення електроустановок напругою більш як 1 000 В

Мета заняття: ознайомитися зі способами побудови та методом розрахунку захисного заземлення електроустановок напругою більш як 1 000 В

Завдання дослідження

- 1 Ознайомлення з основними поняттями побудови електричних мереж і підключення електроустановок напругою більш як 1000 В.
- 2 Визначення нормативних значень опору захисного заземлювального пристрою і заземлювальних проводів.
- 3 Визначення кількості і способів розміщення електродів захисного заземлення.
- 4 Вивчення алгоритму розрахунку заземлювального пристрою.

Основні поняття і визначення

Таблиця 1. Назва, скорочення і визначення теоретичних положень з охорони праці

Назва, скорочення	Визначення
Енергоустановка	Комплекс взаємопов'язаного устаткування та споруд, призначених для виробництва чи перетворення, передавання, накопичення, розподілення та споживання енергії.
Електроустановка (ЕУ)	Енергоустановка призначена для виробництва чи перетворення, передавання, розподілення чи споживання електроенергії
Електробезпека	Засоби і засоби з охорони праці, які забезпечують відсутність загрози під час експлуатації ЕУ життю та здоров'ю працівників з певним допустимим ризиком.
Захисне заземлення	Заземлення точки або точок електричної системи та струмопровідних частин ЕУ з метою безпечного функціонування та використання.
Функціональне (робоче) заземлення	Функціональне (робоче) заземлення – це заземлення нейтральної або середньої точки джерела живлення (ДЖ) за умовами експлуатації електромереж (ЕМ) або з метою забезпечення електромагнітної сумісності.
Відкрита електроустановка	Електрична установка, розміщена просто неба

(БЕУ)	
Розподільча установка (РУ)	Електроустановка, призначена для приймання та розподілення електричної енергії однієї величини напруги, яка містить: – комутаційні апарати та збірні шини; – з'єднані секції шин; – пристрої керування і захисту
Електрична мережа (ЕМ)	Електроустановка призначена для передавання електроенергії
Повітряна лінія електропередавання (ПЛ)	ЕМ, яка розташована назовні, проводи якої підтримуються за допомогою опор та ізоляторів.
Електроустановка діюча	Електроустановка або її ділянка, які перебувають під робочою чи наведеною напругою, або на яку напруга можна подати вмиканням комутаційних апаратів, а також ПЛ, яка має зв'язки з діючою ПЛ
Електрообладнання	Пристрої, в яких виробляється, трансформується, перетворюється, розподіляється чи споживається електроенергія; комутаційні апарати в розподільчих пристроях електроустановок; усі види захисту електроустановок
Заземлювальний пристрій (ЗП)	Сукупність електрично з'єднаних заземлювача та заземлювальних провідників
Природні заземлювачі	Як природні заземлювачі можна використовувати: – металеві конструкції та арматуру залізобетонних конструкцій, які контактують із землею; – прокладені у землі водогінні труби та свинцеві оболонки кабелів; – обсадні труби артезіанських свердловин та колодязів.
Заземлення	Спеціальне електричне з'єднання будь-якої ЕУ або частини ЕУ з заземлювальним пристроєм
Заземлення захисне базове	Заземлення ПЛ на контур заземлення опори або груповий заземлювач з метою зниження наведеної напруги до безпечного значення
Заземлювач	Провідник (електрод) чи сукупність електрично з'єднаних між собою провідників, що перебувають у надійному контакті зі землею
Заземлювальний провідник	Провідник, що з'єднує заземлювальні частини

	зі заземлювачем
Стумовідна частина	Частина електроустановки, яка у робочому режимі перебуває під напругою
Стумопровідна (нестумовідна) частина	Частина ЕУ, яка у робочому режимі не перебуває під напругою, але може опинитися під напругою в аварійних режимах роботи (наприклад, корпус електричної машини)
Захисне заземлення	Заземлення точки або точок електричної системи та стумопровідних частин ЕУ з метою безпечного функціонування та використання.
Функціональне (робоче) заземлення	Функціональне (робоче) заземлення – це заземлення нейтральної або середньої точки джерела живлення (ДЖ) за умовами експлуатації електромереж (ЕМ) або з метою забезпечення електромагнітної сумісності.

Алгоритм розрахунку штучного захисного заземлення

Захисне заземлення – це навмисне заземлення точки або точок електричної системи та стумопровідних частин ЕУ з метою безпечного функціонування та використання.

Призначення захисного заземлення – перетворення замикання на корпус ЕУ у замикання на землю з метою зниження напруги непрямого дотику і напруги дотику до безпечних значень

1. Вихідні дані для розрахунку заземлення

Вибір конструкції і розрахунок опору захисного заземлення виконують за наявності такої вихідної інформації:

- напруга електроустановки (ЕУ), що заземлюється;
- струм замикання на землю $I_{зз}$ або дані для його розрахунку (в ЕУ напругою більш як 1 кВ);
- сумарна потужність джерела живлення (ДЖ);
- план розміщення устаткування у мірилі з потрібними розмірами;
- відомості про ґрунти, де потрібно розміщувати заземлювачі (питомий опір, вид ґрунту);
- відомості про природні заземлювачі (вид, геометричні розміри, питомий опір ґрунту або опір природних заземлювачів);
- час вимкнення напруги релейним захистом (максимальний струмовий захист) $-t_c$ (в ЕУ напругою більш як 1 кВ з ефективно заземленою нейтраллю).

2. Вимоги до заземлювального пристрою

2.1 Вимоги до заземлювальних пристроїв ЕУ напругою більш як 1 кВ в ЕМ з ізолюваною, компенсованою або (і) заземленою через резистор нейтраллю

Допустимий опір заземлювального пристрою ($R_{\text{доп}}$) у разі проходження розрахункового струму замикання на землю (I_p) з урахуванням опору природних заземлювачів повинен бути:

– у разі використання ЗП одночасно для ЕУ напругою до 1 кВ, в яких N-, PEN- чи PE-провідники виходять за межі цього ЗП:

$$R_{\text{доп}} \leq 67 / I_p, \text{ але не більше заземлювачів напругою до 1 кВ;}$$

– у разі використання тільки для ЕУ напругою понад 1 кВ, а також у разі використання його одночасно для ЕУ напругою до 1 кВ, в яких N-, PEN- чи PE-провідники не виходять за межі цього ЗП:

$$R_{\text{доп}} \leq 250 / I_p, \text{ але не більше 10 Ом;}$$

де 67 і 250 – допустима напруга на корпусах обладнання відносно землі, В;

I_p – розрахунковий струм замикання на землю, А (повний струм замикання на землю):

$$I_p = I_{\text{зз}} = U_{\text{л}} \cdot (35 \cdot l_{\text{к}} + l_{\text{п}}) / 350;$$

де $U_{\text{л}}$ – лінійна напруга ЕУ, кВ; $l_{\text{к}}, l_{\text{п}}$ – довжини електрично зв'язаних КЛ і ПЛ, км.

2.2 Вимоги до ЗП ЕУ напругою більш як 1кВ в ЕМ з глухозаземленою або ефективно заземленою нейтраллю

ЗП цих ЕУ слід виконувати із дотриманням вимог:

- до напруги дотику або їх опору;
- до конструктивного виконання.

У разі стікання струму замикання на землю (у даному випадку КЗ) із ЗП, який виконується з дотриманням вимог до його опору, напруга на заземлювачі $U_{\text{з}} = I_{\text{зз}} \cdot R_{\text{з}}$ не повинна перевищувати 10 кВ. Напруга понад 10 кВ допускається на ЗП, який виконується з дотриманням вимог до напруги дотику і з якого потенціал не може виноситись за межі зовнішньої огорожі ЕУ.

ЗП, який влаштовується з вимогами до напруги дотику повинен забезпечити допустимі значення напруги дотику залежно від тривалості дії, яка дорівнює сумі часу дії захисту і повного часу вимикання вимикача.

Визначення допустимого опору заземлювача допускають за формулою:

$$R_{\text{доп}} \leq U_{\text{д}}(t_{\text{с}}) / (I_{\text{зз}} \cdot \alpha_1),$$

де $U_{\text{д}}$ – допустима напруга дотику (табл. 1); α_1 – коефіцієнт напруги дотику ($\alpha < 1$).

Таблиця 1. Допустимі значення напруги дотику в електроустановках з глухозаземленою або ефективно заземленою нейтраллю

Тривалість дії (не більш як), $t_{\text{с}}, \text{с}$	0,1	0,2	0,5	0,7	0,9	1,0...5,0
--	-----	-----	-----	-----	-----	-----------

Напруга дотику, $U_d, \text{В}$	500	400	200	130	100	65
------------------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	----

У попередніх розрахунках можна прийняти величину $R_{\text{доп}}$ залежно від напруги ЕМ:

- у ЕМ напругою 0,38, 066 кВ і 10 кВ – 4 Ом;
- у ЕМ напругою 3–20 кВ – 4 Ом;
- у ЕМ напругою 110 кВ і вище – 0,5 Ом.

2.3 Визначення опору природних заземлювачів

Опір природних заземлювачів $R_{\text{пр}}$ визначають або за експериментальними даними або за формулами, наприклад, для природних заземлювачів круглого перерізу (кабель, трубопровід):

$$R_{\text{пр}} = \frac{\rho}{(2\pi l)} \cdot \ln(l^2 / (d \cdot t)),$$

де l – довжина заземлювача, м; d – діаметр заземлювача, м; t – глибина від поверхні землі до середини заземлювача, м.

Далі виконують співставлення опорів природних заземлювачів і допустимого, який визначають залежно від напруги і умов експлуатації ЕУ:

- якщо $R_{\text{пр}} \leq R_{\text{доп}}$, то штучні заземлювачі не потрібні (окрім спеціальних умов праці);
- якщо $R_{\text{пр}} > R_{\text{доп}}$, то потрібно встановлювати штучні заземлювачі $R_{\text{шт}}$ з опором:

$$R_{\text{шт}} = R_{\text{пр}} \cdot R_{\text{доп}} / (R_{\text{пр}} - R_{\text{доп}});$$

- якщо природні заземлювачі відсутні або їх не можна використовувати за вимогами безпеки експлуатації, то $R_{\text{шт}} \leq R_{\text{доп}}$.

У подальших розрахунках визначаємо опір штучного заземлення $R_{\text{шт}}$.

3. Вибір методу розрахунку штучного заземлювача

Можна використовувати два методи розрахунку заземлювачів:

- метод коефіцієнта використання електродів, який застосовують під час розрахунку простих заземлювачів з для ЕУ усіх рівнів напруги; приймають одношарову структуру ґрунту;
- метод наведених потенціалів, який застосовують для розрахунку складних заземлювачів з $R_{\text{шт}} < 2$ Ом для ЕУ з напругою більш як 1 кВ з великим I_{33} ; приймають двошарову структура ґрунту.

4. Розрахунок заземлювача за методом коефіцієнта використання електродів

Розрахунок заземлювача за методом коефіцієнта використання електродів виконують за таким алгоритмом (враховуючи, що пункти 1, 2 і 3 виконано).

4.1 Вибір виду і розміщення електродів заземлювача

Найчастіше застосовують вертикальні електроди, сполучені горизонтальним електродам, які розміщують у низку або у контурі. Електроди заземлювача слід розміщувати на відстані 0,8...1 м від фундаменту ЕУ чи приміщення (рис. 1).

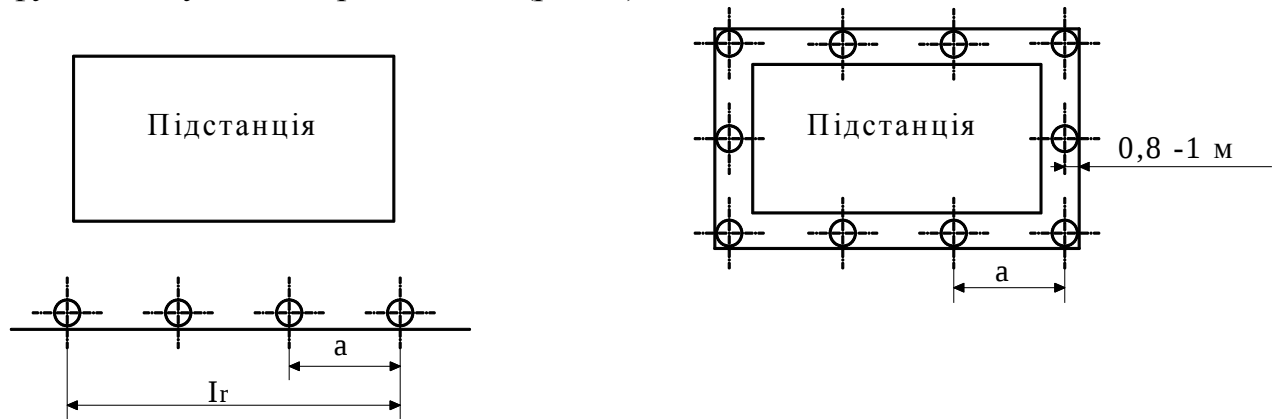


Рис. 1. План розміщення електродів заземлювача:

а – вертикальні електроди розміщені у низці;
б – вертикальні електроди розміщені у контурі.

4.2 Вибір металоконструкції заземлювача

Як вертикальні електроди виконують: сталеві труби діаметром 35 мм, 40 мм та 50 мм з товщиною стінок не менш як 3,5 мм і довжиною 2,5 або 3 м; прутки зі сталі круглого перерізу діаметром не менш як 10 мм, довжиною 3, 4 або 5 м; сталь у вигляді кутника (40х40, 60х60) з товщиною стінок не менш як 3,5 мм і довжиною 2,5 та 3 м.

Для з'єднання вертикальних електродів застосовують горизонтальні електроди, які виконуються зі сталі круглого перерізу чи прямокутного перерізу (штраба) з перетином 4х12 мм, довжиною від 10 до 50 м.

4.3 Визначення розрахункового питомого опору ґрунту

Розрахунковий питомий опір ґрунту $\rho_{\text{розр}}$ визначають у такій послідовності:

- якщо задано вид ґрунту, $\rho_{\text{табл}}$ вибираємо згідно з табл. 3;
- $\rho_{\text{розр}}$ визначаємо за формулою:

$$\rho_{\text{розр}} = \rho_{\text{табл}} \cdot \psi_i,$$

де ψ_i – коефіцієнт сезонності (більше 1), залежить від вологості ґрунту і довжини електродів. Для вертикальних заземлювачів довжиною 3 або 5 м коефіцієнти сезонності наведено у табл. 3, для горизонтальних заземлювачів коефіцієнти сезонності наведено у табл. 4.

Таблиця 3. Питомий опір ґрунту та коефіцієнт сезонності для вертикальних заземлювачів

Вид ґрунту	Питомий опір ґрунту, Ом·м		Коефіцієнт сезонності		
	Інтервальна оцінка	Рекомендоване значення до розрахунків	ψ_1	ψ_2	ψ_3
Глина	8...70	60	1,6	1,3	1,2
Гравій, щебінь	1600...2100	2000	1,6	1,3	1,2
Кам'янистий ґрунту	500...8000	4000	1,6	1,3	1,2
Лес	100...320	250	1,6	1,3	1,2
Пісок	400...2500	500	2,4	1,56	1,2
Садова земля	30...60	50	2,4	1,3	1,2
Скелястий ґрунт	$10^4...10^7$	10^7	2,4	1,3	1,2
Суглинок	40...150	100	2,0	1,5	1,4
Супісок	150...400	300	2,0	1,5	1,4
Торф	8...21	20	1,4	1,1	1
Чорнозем	10...55	30	1,4	1,3	1,2

Примітка: ψ_1 – за великої вологості (>80 %); ψ_2 – за середньої вологості (40...80 %); ψ_3 – за сухого ґрунту (< 40 %).

Таблиця 4. Коефіцієнт сезонності для горизонтальних заземлювачів

Довжина електроду	Вологість ґрунту		
	Велика	Середня	Мала
10 м	5,9	3,5	2,5
50 м	4,8	3,0	2,4

4.4 Вибір розміщення електродів заземлювача відносно поверхні землі

Електроди заземлювача можна розміщувати біля поверхні землі (рис. А2). Такі заземлювачі рекомендують використовувати тільки як тимчасові і не рекомендують для стаціонарних через те, що верхній шар ґрунту на певну глибину взимку промерзає, а влітку підсихає. Збільшення питомого опору цього шару і частини вертикального електроду, яка знаходиться у цьому шарі ґрунту, та горизонтального електроду, який повністю знаходиться у ґрунті з великим питомим опором, призводить до неефективного їх використання.

Електроди заземлювача можна заглибити глибше зони промерзання ґрунту, що становить 0,7...0,8 м (рис. 2).

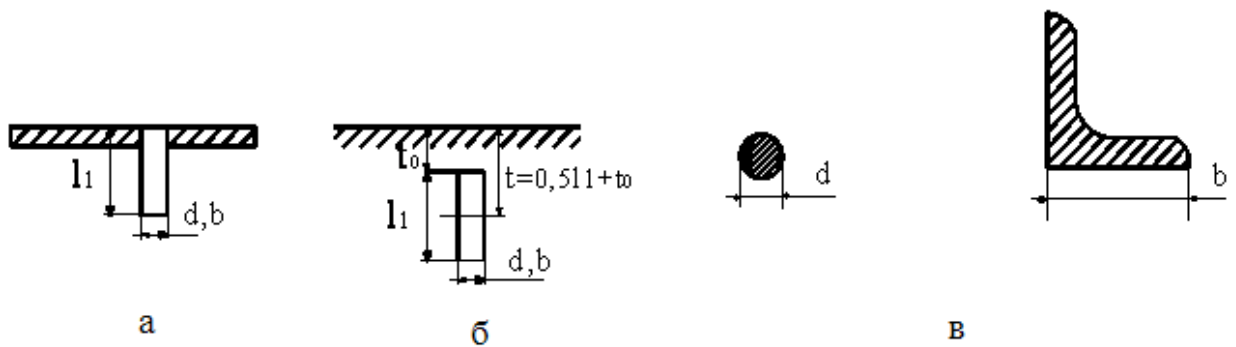


Рис. 2. Розміщення вертикальних електродів у ґрунті (а, б), перерізи вертикальних електродів (в):

l_1 – довжина вертикального електроду (стержня або труби); t_0 – глибина закладання вертикального заземлювача; t – відстань від поверхні ґрунту до середини вертикального електроду; d – діаметр вертикального електроду; b – розмір боку кутника.

Таке розміщення електродів рекомендують для стаціонарних заземлювачів, тому що вся металоконструкція знаходиться у ґрунті з приблизно однаковим значенням питомого опору.

4.5 Розрахунок опору розтікання струму вертикального електроду

Опір розтікання струму одного вертикального електроду, який розміщено заглиблено, визначаємо за формулами:

– круглого перерізу

$$R_{\text{В1}} = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2 \cdot \pi \cdot l_1} \left(\ln \frac{2 \cdot l_1}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + l_1}{4t - l_1} \right); \quad (1)$$

де $\rho_{\text{розр}}$ – розрахунковий питомий опір ґрунту для вертикальних заземлювачів, Ом·м; l_1 – довжина вертикального заземлювача, м; d – діаметр, м; t – відстань від поверхні ґрунту до середини вертикального заземлювача, м, яку визначають за формулою:

$$t = t_0 + l_1 / 2,$$

де t_0 – відстань від поверхні ґрунту, м;

– кутникового перерізу

$$R_{\text{В1}} = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2 \cdot \pi \cdot l_1} \left(\ln \frac{2,1 \cdot l_1}{b} + \frac{1}{2} \ln \frac{4,2t + l_1}{4,2t - l_1} \right).$$

Опір розтікання струму одного вертикального електроду, який розміщено біля поверхні ґрунту, визначаємо за формулами:

– круглого перерізу

$$R_{\text{В1}} = \frac{\rho_{\text{розр}}}{(2\pi l_1)} \cdot \ln(4l_1 / d);$$

– кутникового перерізу

$$R_{B1} = \frac{\rho_{\text{розр}}}{(2,1\pi l_1)} \cdot \ln(4,2l_1 / b).$$

4.6 Співставлення розрахункового опору R_{B1} зі штучним опором $R_{\text{шт}}$.

У разі, якщо $R_{B1} \leq R_{\text{шт}}$, то достатньо одного електрода.

У разі, якщо $R_{B1} > R_{\text{шт}}$, то потрібно паралельно сполучити декілька вертикальних електродів.

4.7 Визначення потрібної кількості вертикальних електродів

Потрібну кількість вертикальних електродів визначаємо за формулою:

$$n' = R_{B1} / (R_{\text{шт}} \eta_e), \quad (2)$$

де $\eta_e \leq 1$ – коефіцієнт екранування (використання) електродів, який враховує взаємний вплив електродів залежно від кількості електродів, способу їх розміщення (у низку чи у контурі) і густини розміщення, яка визначається співвідношенням (a/l_1) , де a – відстань між вертикальними електродами, м.

У попередніх розрахунках приймаємо $a = 1$, а потім для отриманого значення n' за таблицею 5 вибираємо фактичне значення коефіцієнту екранування.

Таблиця 5. Коефіцієнт екранування вертикальних електродів

Кількість заземлювачів	Відношення (a/l_1)					
	У низку			За контуром		
	1	2	3	1	2	3
2	0,85	0,91	0,94	-	-	-
3	0,73	0,83	0,89	0,69	0,78	0,85
4	0,65	0,77	0,85	0,61	0,73	0,80
10	0,59	0,74	0,81	0,57	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

Отриману кількість вертикальних заземлювачів n' округляють до цілого числа n і знаходять фактичний коефіцієнт екранування $\eta_{\text{еф}}$.

4.8 Визначення довжини горизонтального електроду

Визначаємо відстань між вертикальними заземлювачами з співвідношення (a/l_1) , яке може дорівнювати 1, 2 або 3. За визначеного у п. 4.2 значення l_1 , розраховуємо величину a .

Довжину горизонтального електроду l_r визначають залежно від умов розташування:

– у разі розміщення вертикальних електродів у низку

$$l_{\Gamma} = a(n-1);$$

– у разі розміщення вертикальних електродів у контурі

$$l_{\Gamma} = 2(L + D) \approx a \cdot n,$$

де L, D – довжина і ширина території, яка підлягає заземленню, м.

4.9 Визначення опору струму розтікання горизонтального електроду

Визначаємо опір струму розтікання горизонтального електроду R_{Γ} , розміщеного у ґрунті круглого перерізу електроду

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho_{\text{розр.}\Gamma}}{(2\pi l_{\Gamma})} \cdot \ln(l_{\Gamma}^2 / (d_{\Gamma} \cdot t_{\Gamma})), \quad (3)$$

де $\rho_{\text{розр.}\Gamma}$ – розрахунковий питомий опір ґрунту горизонтальних заземлювачів, Ом·м; t_{Γ} – відстань від поверхні ґрунту до середини горизонтального електроду, м; d – діаметр горизонтального електроду, м.

Розрахунковий питомий опір ґрунту горизонтальних заземлювачів визначають за даними табл. 4.

У разі виконання умов

$$l_{\Gamma} \geq 4t_{\Gamma},$$

$$l_{\Gamma} \geq d_{\Gamma},$$

опір струму розтікання горизонтального електроду круглого перерізу можна визначити за формулою:

$$R_{\Gamma} \approx \frac{\rho_{\text{розр.}\Gamma}}{(2\pi l_{\Gamma})} \cdot \ln(2l_{\Gamma} / d_{\Gamma}).$$

Опір струму розтікання горизонтального електроду прямокутного перерізу

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho_{\text{розр.}\Gamma}}{(2\pi l_{\Gamma})} \cdot \ln(2l_{\Gamma}^2 / (b_{\Gamma} \cdot t_{\Gamma})).$$

У разі виконання умов

$$l_{\Gamma} \geq 4t_{\Gamma}, \quad l_{\Gamma} \geq 4b_{\Gamma}$$

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho_{\text{розр.}\Gamma}}{(2\pi l_{\Gamma})} \cdot \ln(4l_{\Gamma} / b_{\Gamma}).$$

4.10 Визначення еквівалентного опору струму розтікання штучного заземлювача

Еквівалентний опір струму розтікання штучного заземлювача визначаємо як опір паралельно з'єднаних n вертикальних електродів і горизонтального електроду

$$R'_{\text{шт}} = \frac{R_{\text{В1}} \cdot R_{\Gamma}}{(R_{\text{В1}} \cdot \eta_{\Gamma\text{еф}} + R_{\Gamma} \cdot n \cdot \eta_{\text{Веф}})}, \quad (4)$$

де $\eta_{\text{Веф}}$ – фактичний коефіцієнт екранування вертикальних електродів, який визначено у п. 4.7; $\eta_{\text{Геф}}$ – коефіцієнт використання горизонтального електроду з урахуванням вертикальних електродів (табл. 6).

Таблиця 6. Коефіцієнт екранування горизонтальних електродів

Відношення a/l_1	Кількість вертикальних електродів							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Електроди розташовано у низку								
1	0,85	0,77	0,72	0,62	0,42	-	-	-
2	0,94	0,80	0,84	0,75	0,56	-	-	-
3	0,96	0,92	0,88	0,82	0,68	-	-	-
Електроди розташовано у контурі								
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	0,35	0,33

Отримане значення опору штучного заземлювача не повинно перевищувати значення $R_{\text{шт}}$, яке визначено у п. 2.1.

$$R_{\text{шт}}' \leq R_{\text{шт}}.$$

Якщо $R_{\text{шт}}' > R_{\text{шт}}$, то потрібно змінити металоконструкцію заземлювача і знову виконати розрахунок.

4.11 Визначення еквівалентного опору захисного заземлення

Еквівалентний опір захисного заземлення загалом (з урахуванням природних і штучних заземлювачів) визначаємо як паралельно з'єднані опори штучного і природного заземлювачів за формулою:

$$R_z' = R_{\text{шт}}' R_{\text{пр}} / (R_{\text{шт}}' + R_{\text{пр}}). \quad (5)$$

Отримане значення R_z' не повинно перевищувати допустиме значення:

$$R_z' \leq R_{\text{доп}}.$$

Вибираємо матеріал та поперечний перетин з'єднувальних провідників. Можна приймати неізолювані мідні проводи з перетином не менш як 4 мм² алюмінієві – від 6 мм² або сталеві – від 6 мм² для прокладання у приміщенні та 10 мм² для прокладання у землі. У разі застосування магістральних шин приймають її товщину 4 мм з перетином не менш як 100 мм².

4.12 Креслення загального виду захисного заземлення

Графічна частина розрахунку передбачає укладення плану захисного заземлювання з прив'язкою до розмірів об'єкта проектування, ЕУ, які заземлюється, конструкції заземлювачів та їхнього розташування.

Завдання на виконання роботи

1. Кожний студент отримає завдання до розрахунку штучного захисного заземлювального пристрою відповідно до варіанту з табл. 7.

2. Виконати розрахунок заземлювального пристрою відповідно до алгоритму.

3. Виконати креслення заземлювального пристрою відповідно до розмірів РУ, ЕУ, які заземлюється, конструкції заземлювачів та їхнього розташування.

4. Надати висновки за результатами розрахунків.

Таблиця 7. Вихідні дані до розрахунку захисного заземлення

Номер варіанту	Напруга ЕУ, кВ	Площа відкритого РУ, м	Вид ґрунту	Час вимкнення напруги релейним захистом, мс
1	6	10x15	глина	60
2	10	12x15	суглинок	45
3	20	15x15	чорнозем	32
4	35	20x15	торф	20
5	110	25x15	супісок	10
6	220	30x15	пісок	8
7	330	30x40	кам'янистий	6
8	220	22x30	пісок	12
9	110	35x20	чорнозем	15
10	35	15x25	суглинок	37
11	20	12x20	супісок	48
12	10	10x15	пісок	62
13	6	8x14	торф	80
14	10	10x18	чорнозем	50
15	20	10x20	суглинок	45
16	35	15x27	пісок	42
17	110	18x30	кам'янистий	30
18	220	20x35	глина	20
19	330	25x40	торф	10
20	500	40x40	супісок	5

Контрольні запитання

1. Пояснити різницю між природними і штучними заземлювачами.

2. Які параметри впливають на величину допустимого опору захисного заземлення.

3. Які фактори призводять до виникнення і протікання струму замикання на землю.

4. Пояснити певні конструктивні особливості виконання заземлювального пристрою.
5. Пояснити призначення захисного заземлення і вимоги, щодо встановлення величини допустимого опору захисного заземлення.
- небезпеку знаходження працівника у зоні розтікання струму біля заземлювача.
6. Пояснити у чому полягає різниця під час виконання виносного чи контурного заземлювального пристрою.
7. З якою метою виконують контурне захисне заземлення відкритих ЕУ.

Список літературних джерел

- 1 Ткачук К.Н. Охорона праці і промислова безпека / К.Н. Ткачук, В.В. Зацарний, М.Ф. Каштанов, Л.Д. Третьякова та ін. // К.: Лібра, 2010. – 425 с.
- 2 НПАОП 40.1-1.01-97 (ДНАОП 1.1.10-1.01-97). Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Встановлено вимоги щодо безпечної експлуатації електроустановок напругою до 500 кВ.
- 3 ДНАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Визначає вимоги з безпечної експлуатації електроустановок споживачів напругою до 220 кВ.
- 4 Правила улаштування електроустановок (ПУЕ – 2010). Розділ 1. Загальні правила. Гл. 1.7. Заземлення і захисні заходи безпеки.