

Комплексне дослідження електробезпеки

Мета роботи – дослідити характер розподілу крокових напруг і сили струму, що протікає через людину, при замиканні фази на корпус електроустановки і виявити фактори, що впливають на наслідки ураження напругою кроку; ознайомитися з принципом роботи захисного заземлення і оцінити вплив опору струмові розтікання на ефективність захисного заземлення в електроустановках напругою до 1000 В; ознайомитися з принципом дії занулення та оцінити його ефективність.

Електротравматизм та дія електричного струму на організм людини

Електробезпека – це система організаційних та технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого та небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики.

Найбільша кількість випадків електротравматизму, в тому числі із смертельними випадками, стається при експлуатації електроустановок напругою до 1000 В, що пов'язано їх поширенням і відносною доступністю практично для кожного, хто працює на виробництві. Випадки електротравматизму, під час експлуатації електроустановок напругою понад 1000 В нечасті, що обумовлено незначним поширенням таких електроустановок і обслуговуванням їх висококваліфікованим персоналом.

Основними причинами електротравматизму на виробництві є:

- випадкове доторкання до неізольованих струмопровідних частин електроустаткування;
- використання несправних ручних електроінструментів;
- застосування нестандартних або несправних переносних світильників напругою 220 чи 127 В;
- робота без надійних захисних засобів та запобіжних пристосувань;
- доторкання до незаземлених корпусів електроустаткування, що опинилися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції;
- недотримання правил улаштування, технічної експлуатації та правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок та ін.

Органи чуття людини не здатні на відстані виявляти наявність електричної напруги. В зв'язку з цим захисна реакція організму проявляється лише після того, як людина потрапила під дію електричної напруги. Проходячи через організм людини електричний струм справляє на нього термічну, електролітичну, механічну та біологічну дію.

Термічна дія струму проявляється опіками окремих ділянок тіла, нагріванням кровоносних судин, серця, мозку та інших органів, через які проходить струм, що призводить до виникнення в них функціональних розладів.

Електролітична дія струму характеризується розкладом крові та інших органічних рідин, що викликає суттєві порушення їх фізико-хімічного складу.

Механічна дія струму проявляється ушкодженнями (розриви, розшарування тощо) різноманітних тканин організму внаслідок електродинамічного ефекту.

Біологічна дія струму на живу тканину проявляється небезпечним збудженням клітин та тканин організму, що супроводжується мимовільним судомним скороченням м'язів. Таке збудження може призвести до суттєвих порушень і навіть повного припинення діяльності органів дихання та кровообігу.

Подразнення тканин організму внаслідок дії електричного струму може бути прямим, коли струм проходить безпосередньо через ці тканини, та рефлекторним (через центральну нервову систему), коли тканини не знаходяться на шляху проходження струму.

Види електричних травм.

Причини летальних наслідків від дії електричного струму

Електротравма – це травма, яка спричинена дією електричного струму чи електричної дуги. За наслідками електротравми умовно поділяють на два види: місцеві електротравми, коли виникає місцеве ушкодження організму, та загальні електротравми (електричні удари), коли уражається весь організм внаслідок порушення нормальної діяльності життєво важливих органів і систем.

Характерними місцевими електричними травмами є електричні опіки, електричні знаки, металізація шкіри, механічні ушкодження та електроофтальмія.

Електричний опік – найбільш поширена місцева електротравма, яка, в основному, спостерігається у працівників, що обслуговують діючі електроустановки. Електричні опіки залежно від умов їх виникнення бувають двох видів: струмові (контактні), коли внаслідок проходження струму електрична енергія перетворюється в теплову, та дугові, які виникають внаслідок дії на тіло людини електричної дуги. Залежно від кількості виділеної теплоти та температури, а також і розмірів дуги електричні опіки можуть уражати не лише шкіру, але й м'язи, нерви і навіть кістки.

Електричні знаки (електричні позначки) являють собою плями сірого чи блідо-жовтого кольору у вигляді мозоля на поверхні шкіри в місці її контакту із струмовідними частинами.

Металізація шкіри – це проникнення у верхні шари шкіри найдрібніших часток металу, що розплавляється внаслідок дії електричної дуги.

Механічні ушкодження – це ушкодження, які виникають внаслідок судомних скорочень м'язів під дією електричного струму, що проходить через тіло людини. Вони проявляються у вигляді розривів шкіри, кровоносних судин, нервових тканин, а також вивихів суглобів і навіть переломів кісток.

Електроофтальмія – це ураження очей внаслідок дії ультрафіолетових випромінювань електричної дуги.

Найбільш небезпечним видом електротравм є електричний удар, який у більшості випадків призводить до смерті потерпілого.

Електричний удар – це збудження живих тканин організму електричним струмом, що супроводжується судомним скороченням м'язів. Залежно від наслідків ураження електричні удари можна умовно підрозділити на чотири ступеня:

I – судомні скорочення м'язів без втрати свідомості;

II - судомні скорочення м'язів з втратою свідомості, але зі збереженням дихання та роботи серця;

III – втрата свідомості та порушення серцевої діяльності чи дихання (або одного і другого разом);

IV – клінічна смерть.

Клінічна смерть – це перехідний період від життя до смерті, що настає з моменту зупинки серцевої діяльності та легенів і триває 6 – 8 хвилин, доки не загинули клітини головного мозку. Після цього настає біологічна смерть.

Причинами летальних наслідків від дії електричного струму можуть бути:

❖ зупинка серця чи його фібриляція (хаотичне скорочення волокон серцевого м'яза);

❖ припинення дихання внаслідок судомного скорочення м'язів грудної клітки, що беруть участь у процесі дихання;

❖ електричний шок (своєрідна нервово-рефлекторна реакція організму у відповідь на подразнення електричним струмом, що супроводжується розладами кровообігу, дихання, обміну речовин і т. п.

Можлива також одночасна дія двох або навіть усіх трьох вищеназваних причин. шоковий стан може тривати від кількох десятків хвилин до діб.

Чинники, що впливають на наслідки ураження електричним струмом

Характер впливу електричного струму на організм людини, а відтак і наслідки ураження, залежать від цілої низки чинників, які умовно можна підрозділити на чинники електричного (*сила струму, напруга, опір тіла людини, вид та частота струму*) та неелектричного характеру (*тривалість дії струму, шлях проходження струму через тіло людини, індивідуальні особливості людини, умови навколишнього середовища тощо*).

Сила струму, що проходить через тіло людини є основним чинником, який обумовлює наслідки ураження. Різні за величиною струми справляють і різний вплив на організм людини. Розрізняють три основні порогові значення сили струму:

- пороговий відчутний струм – найменше значення електричного струму, що викликає при проходженні через організм людини відчутні подразнення;

- пороговий невідпускаючий струм – найменше значення електричного струму, яке викликає судомні скорочення м'язів руки, в котрій затиснутий провідник, що унеможливує самостійне звільнення людини від дії струму;

- пороговий фібриляційний (смертельно небезпечний) струм – найменше значення електричного струму, що викликає при проходженні через тіло людини фібриляцію серця.

В табл. 1 наведено порогові значення сили струму при його проходженні через тіло людини по шляху „рука – рука” або „рука – ноги”.

Таблиця 1

Порогові значення змінного та постійного струму

Вид струму	Пороговий відчутний струм, <i>мА</i>	Пороговий невідпускаючий струм, <i>мА</i>	Пороговий фібриляційний струм, <i>мА</i>
Змінний струм частотою 50 Гц	0,5 – 1,5	6 – 10	80 – 100
Постійний струм	5,0 – 7,0	50 – 80	300

Струм (змінний та постійний) більше 5 А викликає миттєву зупинку серця, минаючи стан фібриляції.

Значення прикладеної напруги U_n впливає на наслідки ураження, оскільки згідно закону Ома визначає силу струму I_n , що проходить через тіло людини, та його опір R_n :

$$I_n = U_n / R_n \quad (1)$$

Чим вище значення напруги, тим більша небезпека ураження електричним струмом. Умовно безпечною для життя людини прийнято вважати напругу, що не перевищує 42 В (в Україні така стандартна напруга становить 36 та 12 В), при якій не повинен статися пробій шкіри людини, що приводить до різкого зменшення загального опору її тіла.

Електричний опір тіла людини залежить, в основному, від стану шкіри та центральної нервової системи. Загальний електричний опір тіла людини можна представити як суму двох опорів шкіри та опору внутрішніх тканин тіла (рис. 1). Найбільший опір проходженню струму чинить шкіра, особливо її зовнішній ороговілий шар (епідерміс), товщина якого становить близько 0,2 мм. Опір внутрішніх тканин тіла незначний і становить 300 – 500 Ом.

Загальний опір тіла людини змінюється в широких межах — від 1 до 100 кОм, а іноді й більше. Для розрахунків опір тіла людини умовно приймають рівним $R_n = 1$ кОм. При зволоженні, забрудненні та пошкодженні шкіри (потовиділення, порізи, подряпини тощо), збільшенні прикладеної напруги, площі контакту, частоти струму та часу його дії опір тіла людини зменшується до певного мінімального значення (0,5 – 0,7 кОм).

Опір тіла людини зменшується також при захворюваннях шкіри, центральної нервової та серцево-судинної систем, проявах алергічної реакції тощо.

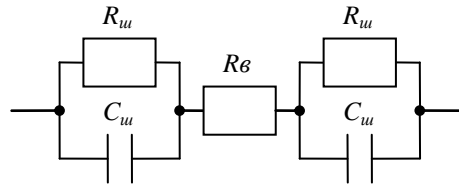


Рис. 1. Схема опору тіла людини:

R_u – активний опір шкіри; C_u – ємнісний опір шкіри; R_e – опір внутрішніх тканин тіла

Вид та частота струму, що проходить через тіло людини, також впливають на наслідки ураження. Постійний струм приблизно в 4 – 5 разів безпечніший за змінний. Це пов'язано з тим, що постійний струм у порівнянні зі змінним промислової частоти такого ж значення викликає більш слабші скорочення м'язів та менш неприємні відчуття. Його дія, в основному, тепла. Однак, слід зауважити, що вищезазначене стосовно порівняльної небезпеки постійного та змінного струму є справедливим лише для напруги до 500 В. При більш високих напругах постійний струм стає не безпечнішим ніж змінний.

Частота змінного струму також відіграє важливе значення стосовно питань електробезпеки. Так найбільш небезпечним вважається змінний струм частотою 20—100 Гц. При частоті меншій ніж 20 або більшій за 100 Гц небезпека ураження струмом помітно зменшується. Струм частотою понад 500 кГц не може смертельно уразити людину. Однак дуже часто викликає опіки.

Тривалість дії струму на організм людини істотно впливає на наслідки ураження: чим більший час проходження струму, тим швидше виснажуються захисні сили організму, при цьому опір тіла людини різко знижується і важкість наслідків зростає (табл. 4).

Шлях проходження струму через тіло людини є важливим чинником. Небезпека ураження особливо велика тоді, коли на шляху струму знаходяться життєво важливі органи – серце, легені, головний мозок. Існує багато можливих шляхів проходження струму через тіло людини (петель струму), характеристики найбільш поширених серед них наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Характеристика найбільш поширених шляхів проходження струму через тіло людини

Шлях струму	Частота виникнення даного шляху струму, %	Частка потерпілих, які втрачали свідомість протягом дії струму, %	Значення струму, що проходить через серце, % від загального струму, що проходить через тіло
Рука—рука	40	83	3,3
Права рука—ноги	20	87	6,7
Ліва рука—ноги	17	80	3,7
Нога—нога	6	15	0,4
Голова—ноги	5	88	6,8
Голова—руки	4	92	7,0
Інші	8	65	—

Індивідуальні особливості людини значною мірою впливають на наслідки ураження електричним струмом. Для жінок порогові значення струму приблизно в півтора рази є нижчими, ніж для мужчин. Ступінь впливу струму істотно залежить від стану нервової системи та всього організму в цілому. Так, у стані нервового збудження, депресії, сп'яніння, захворювання (особливо при захворюваннях шкіри, серцево-судинної та центральної нервової систем) люди значно чутливіші до дії на них струму. Важливе значення має також уважність та психічна готовність людини до можливої небезпеки ураження струмом.

Умови навколишнього середовища можуть підвищувати небезпеку ураження людини електричним струмом. Так, у приміщеннях з високою температурою та відносно вологістю повітря наслідки ураження можуть бути важчими, оскільки значне потовиділення для

підтримання теплобалансу між організмом та навколишнім середовищем, призводить до зменшення опору тіла людини.

Допустимі значення струмів і напруг

Для правильного визначення необхідних засобів та заходів захисту людей від ураження електричним струмом необхідно знати допустимі значення напруг доторкання та струмів, що проходять через тіло людини.

Напруга доторкання – це напруга між двома точками електричного кола, до яких одночасно доторкається людина. Гранично допустимі значення напруги доторкання та сили струму для нормального (безаварійного) та аварійного режимів електроустановок при проходженні струму через тіло людини по шляху „рука – рука” чи „рука – ноги” регламентуються ГОСТ 12.1.038-82 (табл.3 та 4).

Таблиця 3

Граничнодопустимі значення напруги доторкання U_{dot} та сили струму I_L , що проходить через тіло людини при нормальному режимі електроустановки

Вид струму	U_{dot}, B (не більше)	I_L, mA (не більше)
Змінний, 50 Гц	2	0,3
Змінний, 400 Гц	3	0,4
Постійний	8	1,0

При виконанні роботи в умовах високої температури (більше 25 °С) і відносної вологості повітря (більше 75 %) значення таблиці 3 необхідно зменшити у три рази.

Аварійний режим електроустановки означає, що вона має певні пошкодження, які можуть призвести до виникнення небезпечних ситуацій. Як видно із таблиці 4 значення U_{dot} та I_L істотно залежать від тривалості дії струму.

Таблиця 4

Граничнодопустимі значення напруги доторкання U_{dot} та I_L , що проходить через тіло людини при аварійному режимі електроустановки

Вид струму	Нормоване значення	Тривалість дії струму t, c					
		0,1	0,2	0,5	0,7	1,0	Більше 1,0
Змінний, 50 Гц	U_{dot}, B (не більше)	500	250	100	70	50	36
	I_L, mA (не більше)	500	250	100	70	50	6
Постійний	U_{dot}, B (не більше)	500	400	250	230	200	40
	I_L, mA (не більше)	500	400	250	230	200	15

Граничнодопустимі значення сили струму (змінного та постійного), що проходить через тіло людини при тривалості дії більше ніж 1 с нижчі за пороговий невідпускаючий струм, тому при таких значеннях людина доторкнувшись до струмопровідних частин установки здатна самостійно звільнитися від дії електричного струму.

Класифікація приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом

За ступенем небезпеки ураження електричним струмом всі приміщення поділяються на три категорії: *приміщення без підвищеної небезпеки*; *приміщення з підвищеною небезпекою*; *особливо небезпечні приміщення*.

Приміщення з підвищеною небезпекою характеризуються наявністю однієї з наступних умов, що створюють підвищену небезпеку:

- високої відносної вологості повітря (перевищує 75 % протягом тривалого часу);
- високої температури (перевищує 35 °С протягом тривалого часу);
- струмопровідного пилу;
- струмопровідної підлоги (металевої, земляної, залізобетонної, цегляної і т. п.);

▪ можливості одночасного доторкання до металевих елементів технологічного устаткування чи металоконструкцій будівлі, що з'єднані із землею та металевих частин електроустаткування, які можуть опинитися під напругою.

Особливо небезпечні приміщення характеризуються наявністю однієї із умов, що створюють особливу небезпеку:

- дуже високої відносної вологості повітря (близько 100 %);
- хімічно активного середовища;
- одночасною наявністю двох чи більше умов, що створюють підвищену небезпеку.

Приміщення без підвищеної небезпеки характеризуються відсутністю умов, що створюють особливу або підвищену небезпеку.

Оскільки наявність небезпечних умов впливає на наслідки випадкового доторкання до струмопровідних частин електроустаткування, то для ручних переносних світильників, місцевого освітлення виробничого устаткування та електрифікованого ручного інструменту в приміщеннях з підвищеною небезпекою допускається напруга живлення до 36 В, а у особливо небезпечних приміщеннях – до 12 В.

Умови ураження людини струмом при доторканні до струмопровідних частин електромереж

Якщо людина одночасно доторкається до щонайменше двох точок, між якими існує деяка напруга, і при цьому утворюється замкнуте електричне коло, то через тіло людини проходить електричний струм. Величина цього струму, а відтак і небезпека ураження людини, залежить від низки чинників: *схеми під'єднання людини до електричного кола, напруги мережі, схеми самої мережі, режиму її нейтралі, якості ізоляції струмопровідних частин від землі, ємності струмопровідних частин відносно землі і т.п.*

Електричні мережі поділяються на мережі постійного і змінного струму (одно- та багатофазні). Найчастіше в промисловості застосовуються трифазні мережі з ізолюваною нейтраллю (трьох провідні) та з глухозаземленою нейтраллю (чотирьох провідні).

Глухозаземлена нейтраль – нейтраль генератора чи трансформатора, яка приєднана до заземлювального пристрою безпосередньо або через апарати з малим опором.

Ізолювана нейтраль – це нейтраль трансформатора чи генератора, яка не приєднана до заземлювального пристрою або приєднана до нього через апарати з великим опором (трансформатори напруги, компенсаційні котушки тощо).

Схеми під'єднання людини до електричного кола можуть бути різними. Однак найбільш характерними є дві схеми під'єднання: між двома фазами електричної мережі (двофазне доторкання) та між однією фазою та землею (однофазне доторкання).

Двофазне (двополюсне) доторкання. При двофазному доторканні до струмопровідних частин (рис. 2) сила струму I_L , що проходить через тіло людини визначається за формулами:

- для мережі постійного або однофазного змінного струму

$$I_L = \frac{U_{роб}}{R_L}; \quad (2)$$

- для трифазної мережі

$$I_L = \frac{U_{лін}}{R_L} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\phi}}{R_L}, \quad (3)$$

де R_L – опір тіла людини, Ом; $U_{роб}$ – робоча напруга мережі, В; $U_{лін}$ – лінійна напруга мережі, В; U_{ϕ} – фазна напруга мережі, В.

Двофазне доторкання є більш небезпечним, оскільки I_L залежить лише від напруги мережі та опору тіла людини. Однак такі випадки зустрічаються досить рідко і є, зазвичай, наслідками порушення правил техніки безпеки.

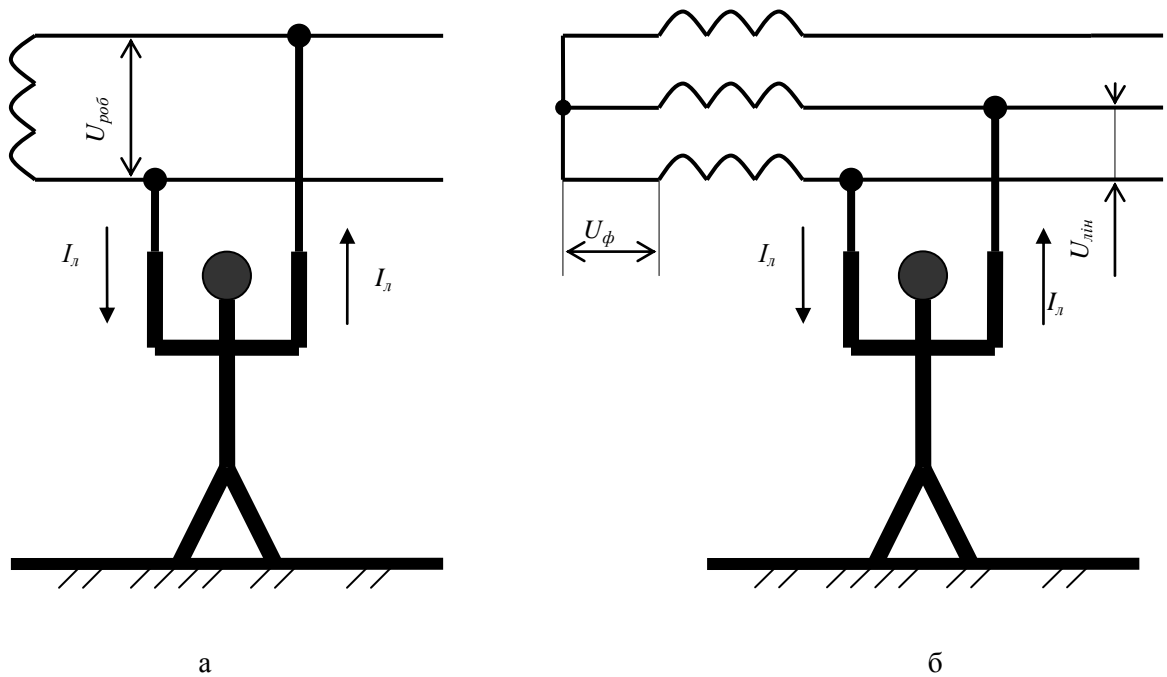


Рис. 2. Схема двофазного доторкання:
а – в мережі постійного або однофазного струму; б – в трифазній мережі

Однофазне (однополюсне) доторкання. При однофазному доторканні в мережі з глухозаземленою нейтраллю (рис. 3,а) через тіло людини проходить менший струм, оскільки напруга, під якою опинилась людина не перевищує фазної, що у $\sqrt{3}$ разів є меншою ніж лінійна напруга мережі. Крім того, загальний опір електричного кола може складатися не лише з опору тіла людини R_n , та опору заземлення нейтралі R_0 , а й з опору підлоги (основи) R_n , на якій стоїть людина та опору її взуття $R_в$. В загальному випадку I_l визначається за формулою:

$$I_l = \frac{U_\phi}{R_l + R_0 + R_n + R_в} \quad (4)$$

При однофазному доторканні у трифазній мережі з ізолюваною нейтраллю (рис. 3,б) струм, що пройде через тіло людини буде меншим ніж при аналогічному доторканні у мережі з глухозаземленою нейтраллю. Це пов'язано з тим, що до загального опору електричного кола ще додається опір ізоляції ($r_a, r_в, r_c$) та ємності ($c_a, c_в, c_c$) фаз. У такій мережі напругою до 1000 В коли значення опору ізоляції всіх трьох фаз рівні ($r_a = r_в = r_c$), а ємнісним опором можна знехтувати ($c_a = c_в = c_c$), то струм, що проходить через людину, дорівнює:

$$I_l = \frac{U_\phi}{R_l + R_0 + R_в + R_n + \frac{r}{3}} = \frac{3U_\phi}{3(R_l + R_0 + R_n + R_в) + r} \quad (5)$$

а при $R_0 = R_n = R_в = 0$ $I_l = \frac{3U_\phi}{3R_l + r} \quad (6)$

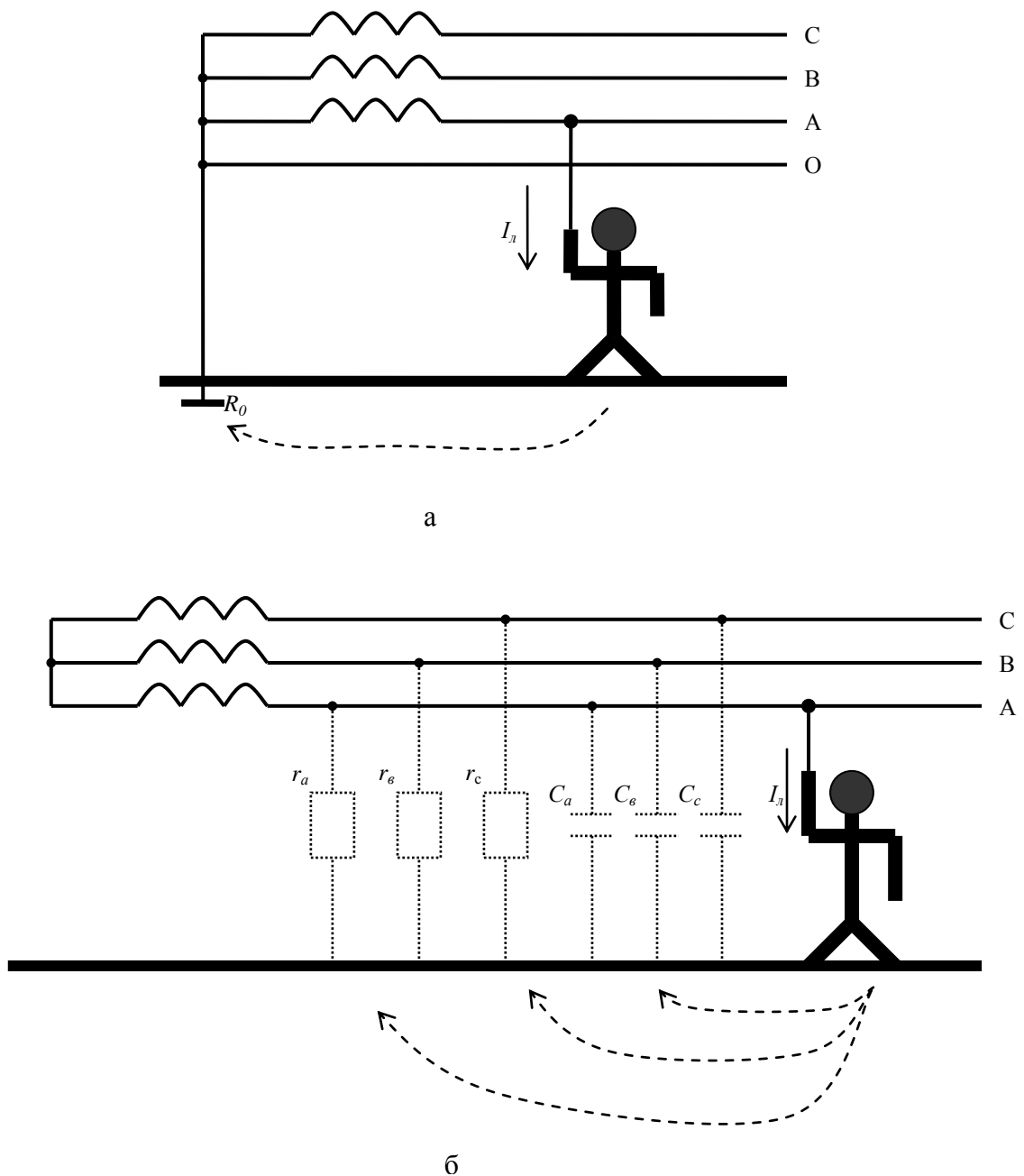


Рис. 3. Схема однофазного доторкання при нормальному режимі роботи:
 а – у трифазній мережі з глухозаземленою нейтраллю; б – у трифазній мережі з ізольованою нейтраллю

Необхідно зауважити, що вищенаведені міркування стосуються нормальної роботи електромережі. При аварійних режимах електромережі (замиканні на корпус або на землю) умови змінюються. Наприклад, якщо одна із фаз замикається на землю (рис. 4), то струм, який пройде через тіло людини у випадку її доторкання до справної фази можна виразити такою залежністю:

$$I_d = \frac{U'_{\text{лін}}}{R_l + R_k}. \quad (7)$$

Як правило, опір короткого замикання R_k досить малий і ним можна знехтувати, тоді

$$I_d = \frac{U'_{\text{лін}}}{R_l}, \quad (8)$$

де $U_f < U'_{\text{лін}} < U_{\text{лін}}$.

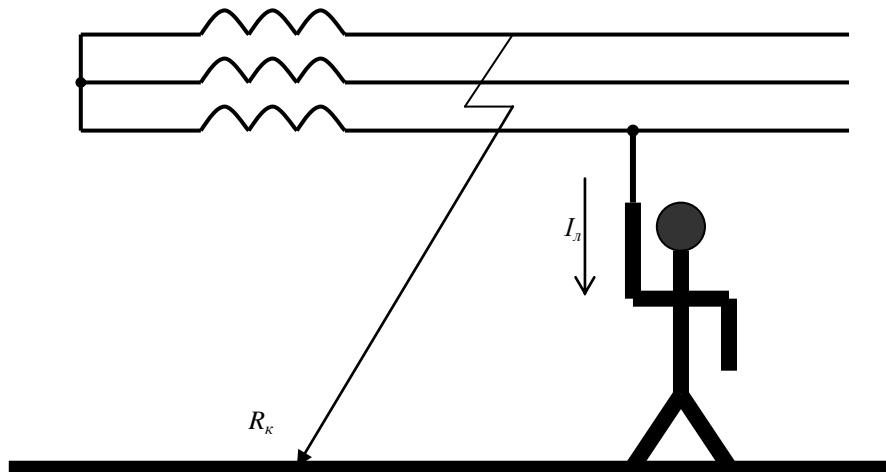


Рис. 4. Схема однофазного доторкання до справної фази несправної електромережі

Таким чином, проаналізувавши розглянуті умови ураження людини струмом можна зробити наступні висновки:

- найменш небезпечним є однофазне доторкання до проводу справної мережі з ізольованою нейтраллю;
- при замиканні однієї із фаз на землю (несправна мережа) небезпека однофазного доторкання до справної фази у такій мережі більша ніж у справній мережі при будь-якому режимі нейтралі;
- при однофазному доторканні у мережі з глухозаземленою нейтраллю наслідки ураження істотно залежать від опору основи (підлоги), на якій стоїть людина та опору її взуття;
- *найнебезпечнішим* є двофазне доторкання при будь-яких режимах нейтралі;
- у мережах напругою понад 1000 В небезпека однофазного чи двофазного доторкання практично однакова, при цьому є висока імовірність смертельного ураження.

Небезпека замикання на землю в електроустановках

Замиканням на землю називається випадкове електричне з'єднання частин електроустановки, які знаходяться під напругою, із землею. Таке замикання може відбутися при пошкодженні ізоляції та переході фазної напруги мережі на заземлені корпуси електроустановок, при падінні на землю проводу під напругою та в інших випадках. Струм від заземлених корпусів, що опинилися під напругою переходить у землю через електрод, який здійснює контакт з ґрунтом. Спеціальний металевий електрод, який для цього використовують прийнято називати *заземлювачем*. Струм, розтікаючись у ґрунті створює на його поверхні потенціали. Оскільки заземлювач може мати різні розміри та форму, то закон розподілу потенціалів визначається складною залежністю. Окрім того, електричні властивості ґрунту неоднорідні, особливо ґрунту з різними прошарками. Для того, щоб спростити картину розтікання електричного поля приймаємо, що струм стікає в землю через одинарний заземлювач напівсферичної форми, який знаходиться в однорідному ізотопному ґрунті з питомим опором ρ , котрий значно перевищує питомий опір матеріалу заземлювача (рис. 5). Густина струму δ в точці А на поверхні ґрунту, що знаходиться на відстані x від заземлювача визначається як відношення струму замикання I_3 до площі поверхні півкулі радіусом x :

$$\delta = \frac{I_3}{2\pi x^2}. \quad (9)$$

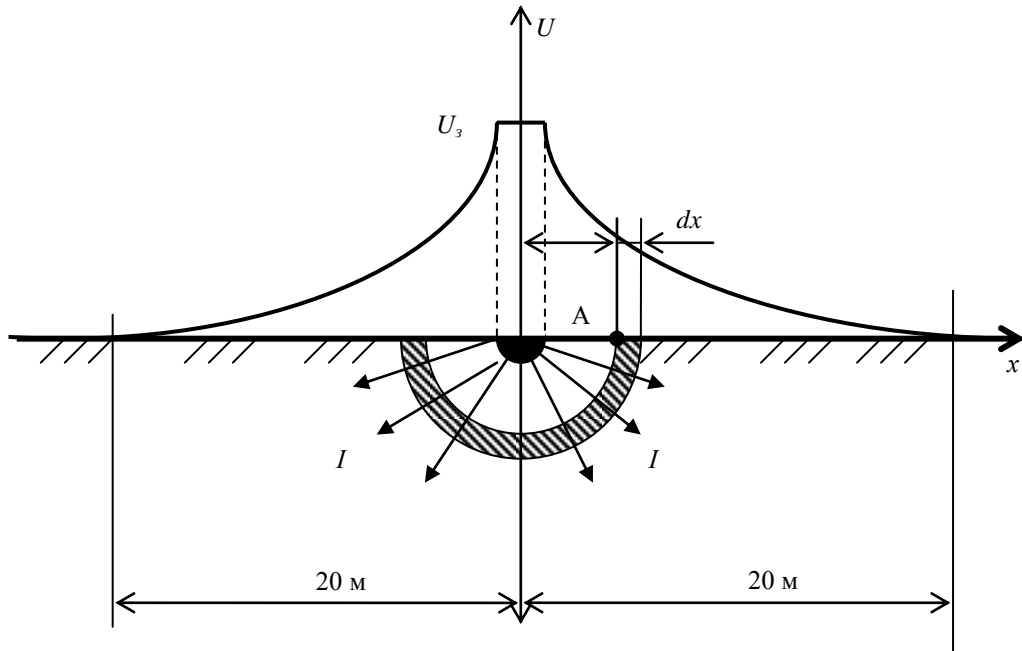


Рис. 5. Розтікання струму в ґрунті через напівсферичний заземлювач

Для визначення потенціалу точки А виділимо елементарний шар товщиною dx . Падіння напруги в цьому шарі становить $dU = E \cdot dx$. Потенціал точки А дорівнює сумарному падінню напруги від точки А до землі, тобто нескінченно віддаленої точки з нульовим потенціалом:

$$\varphi_A = U_A = \int_x^\infty dU = \int_x^\infty E \cdot dx. \quad (10)$$

Напруженість електричного поля в точці А визначається із закону Ома, який виразимо наступною формулою:

$$E = \delta \cdot \rho. \quad (11)$$

Підставивши це значення, одержимо:

$$\varphi_A = U_A = \int_0^\infty \delta \cdot \rho \cdot dx = \int_0^\infty \frac{I_3 \rho}{2\pi x^2} dx = \frac{I_3 \rho}{2\pi x}. \quad (12)$$

З формули (12) видно, що потенціали точок ґрунту в зоні розтікання змінюються за гіперболічним законом (рис. 5).

Зоною розтікання струму називається зона землі, за межами якої електричні потенціали, обумовлені струмом замикання на землю можна умовно прийняти за нуль. Як правило, така зона обмежується об'ємом півсфери радіусом приблизно 20 м.

Людина, що стоїть на землі чи на струмопровідній підлозі в зоні розтікання струму і доторкається при цьому до заземлених струмопровідних частин, опиняється під напругою доторкання. Якщо ж людина стоїть чи проходить через зону розтікання то вона може опинитися під напругою кроку, коли її ноги знаходяться в точках з різними потенціалами.

Напруга доторкання. Для людини, що стоїть на землі і доторкається до заземленого корпусу, що опинився під напругою, визначити напругу доторкання U_{dot} можна як різницю потенціалів між руками φ_p та ногами φ_n

$$U_{dot} = \varphi_p - \varphi_n. \quad (13)$$

Оскільки людина доторкається до заземленого корпусу, то потенціал руки і є потенціалом цього корпусу або напругою замикання:

$$\varphi_p = U_3 = \frac{I_3 \rho}{2\pi x_3}. \quad (14)$$

Ноги людини знаходяться в точці А і потенціал ніг дорівнює:

$$\varphi_n = \varphi_A = \frac{I_3 \rho}{2\pi x} \quad (15)$$

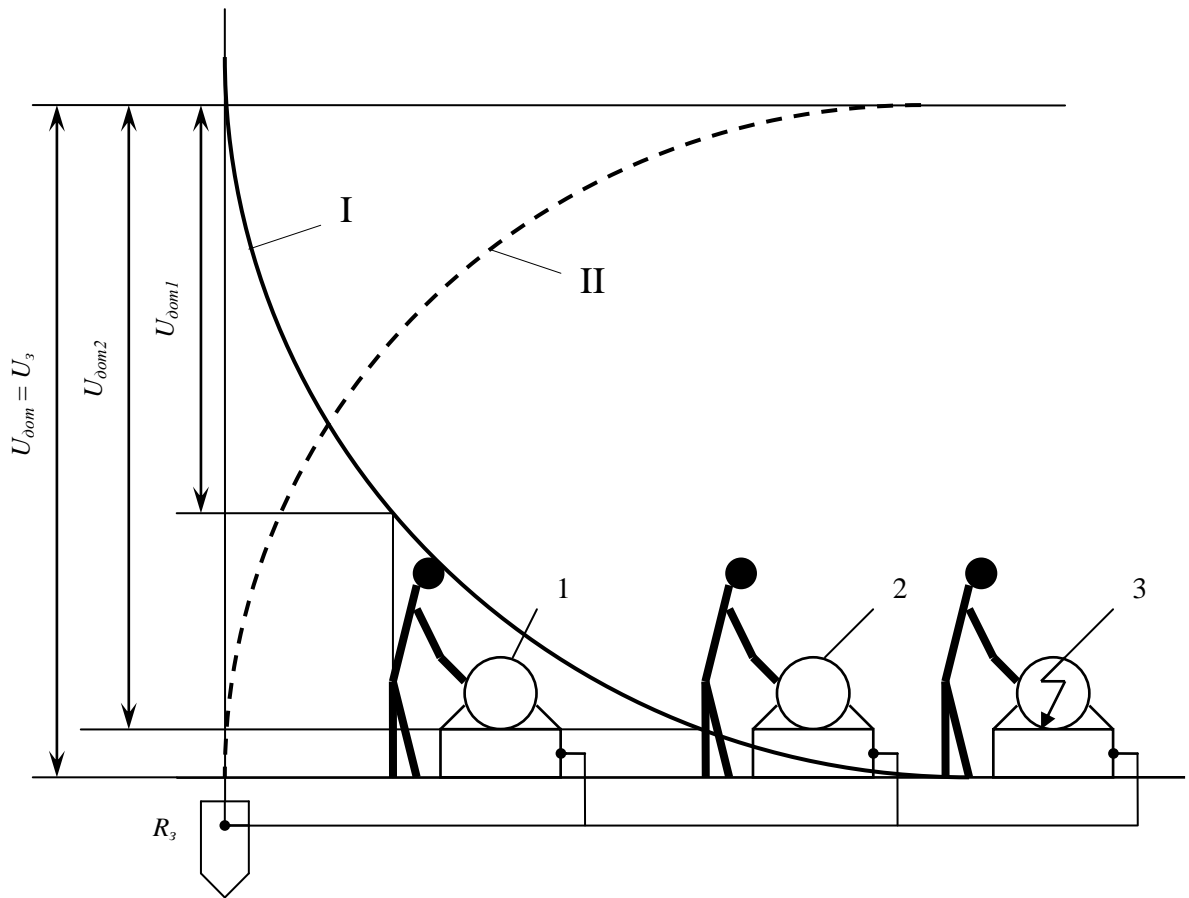


Рис. 6. Напряга доторкання до заземлених струмопровідних частин, що опинилися під напругою

На рис. 6 показано три корпуси споживачів (електродвигунів), які приєднані до заземлювача R_3 . Потенціали на поверхні ґрунту при замиканні на корпус будь-якого споживача фазної напруги розподіляються за кривою I . Потенціали усіх корпусів однакові, оскільки вони електрично з'єднані між собою заземлювальним провідником, падінням напруги в якому можна знехтувати. Для того, щоб визначити напругу доторкання $U_{\text{дом}}$ необхідно від напруги замикання U_3 відняти потенціал тої точки ґрунту, на якій стоїть людина. Якщо людина стоїть над заземлювачем то напруга доторкання дорівнює нулю, оскільки, потенціали рук та ніг однакові і дорівнюють потенціалу корпусів (напрузі замикання). При віддалені від заземлювача напруга доторкання зростає і у людини, що доторкнулась до останнього (третього) корпусу вона стає рівною напрузі замикання, оскільки в цій точці ґрунту потенціал ніг людини дорівнює нулю. Таким чином, напруга доторкання в межах розтікання струму є часткою напруги замикання і зменшується в міру наближення до заземлювача. В загальному випадку для заземлювачів будь-якої конфігурації

$$U_{\text{дом}} = U_3 \alpha, \quad (16)$$

де α – коефіцієнт напруги доторкання, який залежить від форми заземлювача і відстані від нього (приймається за таблицю).

Напряга кроку. Людина, яка опиняється в зоні розтікання струму, знаходиться під напругою, якщо її ноги стоять на точках ґрунту з різними потенціалами. *Напругою кроку (кроковою напругою)* називається напруга між двома точками електричного кола, що знаходяться одна від одної на відстані кроку (0,8 м) і на яких одночасно стоїть людина. На рис. 7 наведе-

но розподіл потенціалів навколо одиночного заземлювача. Напряга кроку U_k визначається як різниця потенціалів між точками 1 та 2, на яких стоять ноги людини:

$$U_k = \varphi_1 - \varphi_2. \quad (17)$$

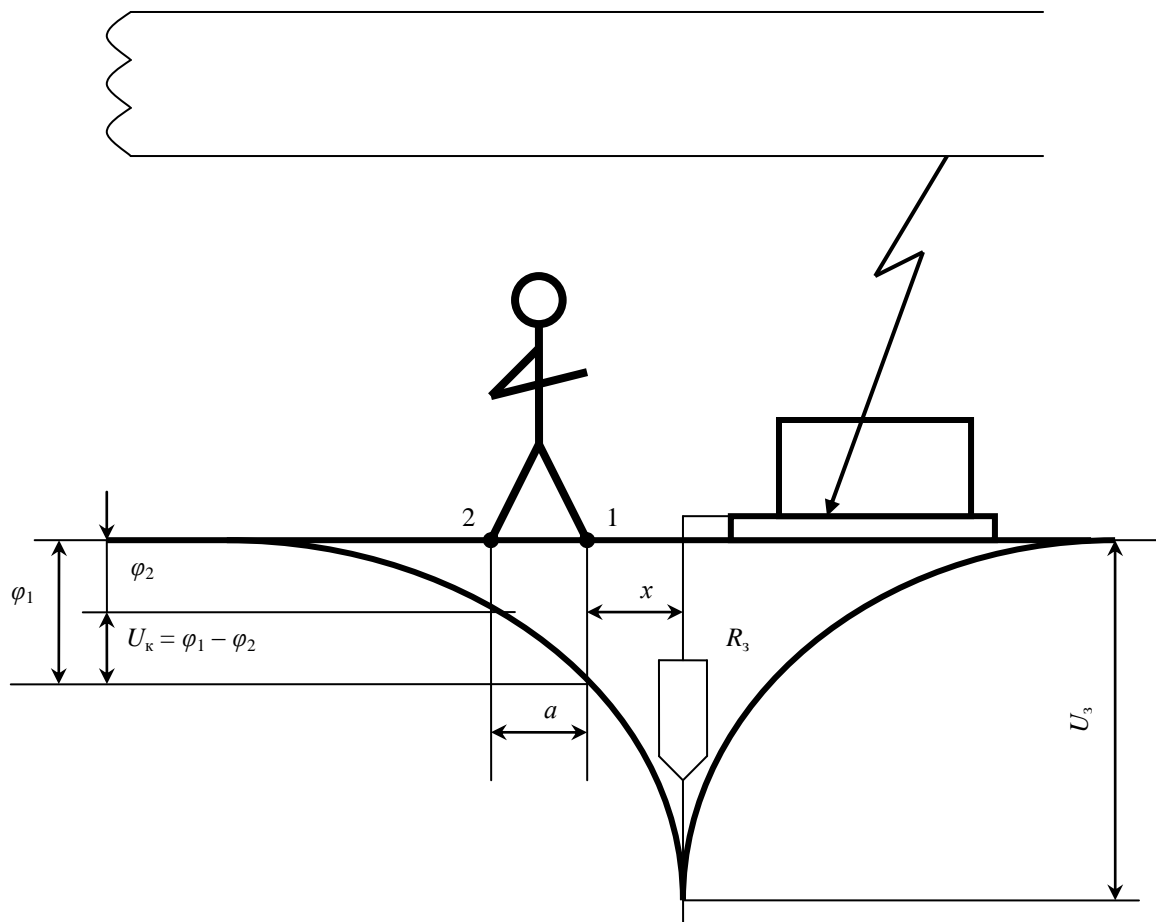


Рис. 7. Напряга кроку

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

$$\varphi_1 = I_3 \rho / 2\pi x. \quad (18)$$

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

$$\varphi_2 = I_3 \rho / 2\pi(x + a). \quad (19)$$

Тоді

$$U_k = \frac{I_3 \cdot \rho}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{x+a} \right) = \frac{I_3 \cdot \rho \cdot a}{2 \cdot \pi \cdot x \cdot (x+a)}. \quad (20)$$

Із формули (20) та рис. 7 видно, що напряга кроку знижується в міру віддалення від точки замикання на землю та при меншій довжині кроку людини. хоча при напрузі кроку струм проходить через тіло людини по шляху „нога – нога”, який є менш небезпечним за інші, однак відомо немало випадків ураження струмом, які спричинені саме кроковою напругою. Важкість ураження зростає із-за судомних скорочень м’язів ніг, що призводить до падіння людини, при цьому струм проходить по шляху „рука – ноги” через життєво важливі органи. Крім того, зріст людини більший за довжину кроку, що обумовлює більшу різницю потенціалів.

У випадку обриву проводу лінії електропередач забороняється наближатися до місця замикання проводу на землю в радіусі 8 м. Виходити із зони розтікання струму необхідно кроками, що не перевищують довжини ступні. Якщо необхідно наблизитися до місця зами-

кання проводу на землю, то для запобігання ураження кроковою напругою необхідно вдягнути діелектричні калоші чи боти.

Системи заходів і засобів безпечної експлуатації електроустановок

Безпечна експлуатація електроустановок забезпечується:

- конструкцією електроустановок;
- технічними способами та засобами захисту;
- організаційними та технічними заходами (рис. 8).

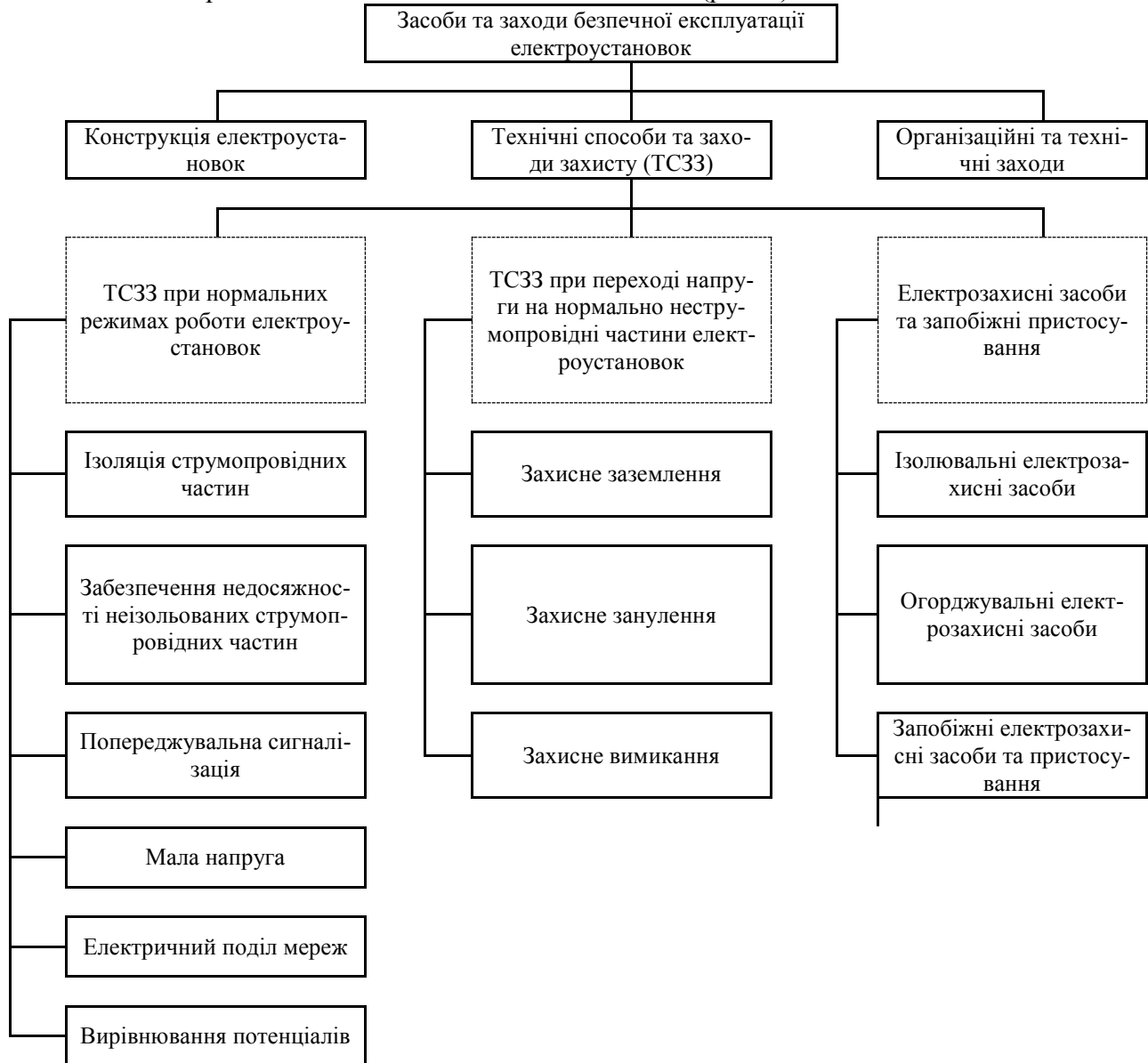


Рис. 8. Класифікація засобів та заходів безпечної експлуатації електроустановок

Конструкція електроустановок

Конструкція електроустановок повинна відповідати умовам їх експлуатації та забезпечувати захист персоналу від можливого доторкання до рухомих та струмопровідних частин, а устаткування – від потрапляння всередину сторонніх предметів та води.

За способом захисту людини від ураження електричним струмом встановлено п'ять класів електротехнічних виробів: 0, 0I, I, II, III. До класу 0 належать вироби, які мають робочу ізоляцію і у яких відсутні елементи для заземлення. До класу 0I належать вироби, які ма-

ють робочу ізоляцію, елемент для заземлення та провід без заземлювальної жили для приєднання до джерела живлення. До класу I належать вироби, які мають робочу ізоляцію та елемент для заземлення. У випадку, коли виріб класу I має провід до джерела живлення, то цей провід повинен мати заземлювальну жилу та вилку із заземлювальним контактом. До класу II належать вироби, які мають подвійну або посилену ізоляцію і не мають елементів для заземлення. До класу III належать вироби, які не мають внутрішніх та зовнішніх електричних кіл з напругою вищою ніж 42 В.

Технічні способи та засоби захисту

Технічні способи та засоби захисту (ТСЗЗ) підрозділяються на (рис. 8):

- ТСЗЗ при нормальних режимах роботи електроустановок (ізоляція струмопровідних частин, недосяжність неізольованих струмопровідних частин, попереджувальна сигналізація, мала напруга, електричний поділ мереж, вирівнювання потенціалів);
- ТСЗЗ при переході напруги на нормально неструмопровідні частини електроустановок (захисні заземлення, занулення, вимикання);
- Електрозахисні засоби та запобіжні пристосування.

Технічні способи та засоби захисту при нормальних режимах роботи електроустановок

Ізоляція струмопровідних частин забезпечується шляхом покриття їх шаром діелектрика для захисту людини від випадкового доторкання до частин електроустановок, через які проходить струм. Розрізняють робочу, додаткову, подвійну та посилену ізоляцію.

Робочою називається ізоляція струмопровідних частин електроустановки, яка забезпечує її нормальну роботу та захист від ураження струмом.

Додатковою називається ізоляція, яка застосовується додатково до робочої і у випадку її пошкодження забезпечує захист людини від ураження струмом.

Подвійною називається ізоляція, яка складається з робочої та додаткової.

Посиленою називається покращена робоча ізоляція.

Механічні пошкодження, волога, перегрівання, хімічні впливи зменшують захисні властивості ізоляції. Навіть у нормальних умовах ізоляція поступово втрачає свої початкові властивості, „старіє”. Тому необхідно систематично проводити профілактичні огляди та випробування ізоляції. У приміщеннях з підвищеною небезпекою та в особливо небезпечних, відповідно не рідше одного разу в два роки та в півріччя, перевіряють шляхом вимірювання відповідність опору ізоляції до норм. Для мереж напругою до 1000 В опір ізоляції струмопровідних частин повинен бути не меншим ніж 0,5 МОм.

Забезпечення недосяжності неізольованих струмопровідних частин передбачає застосування захисних огорож, блокувальних пристроїв та розташування неізольованих струмопровідних частин на недосяжній висоті чи в недосяжному місці.

Захисні огорожі можуть бути суцільними та сітчастими. Суцільні огорожі (корпуси, кожухи, кришки і т.п.) застосовуються в електроустановках напругою до 1000 В, а сітчасті – до і вище 1000 В. Захисні дверцята чи двері повинні закриватись на замок або обладнуватись блокувальними пристроями.

Блокувальні пристрої за принципом дії поділяються на механічні, електричні та електронні. Вони забезпечують зняття напруги із струмопровідних частин при відкриванні огорожі та спробі проникнути в небезпечну зону.

Розташування неізольованих струмопровідних частин на недосяжній висоті чи в недосяжному місці забезпечує безпеку без захисних огорож та блокувальних пристроїв. Вибираючи необхідну висоту підвісу проводів під напругою враховують можливість випадкового доторкання до них довгих струмопровідних елементів, інструменту чи транспорту. Так висота підвісу проводів повітряних ліній електропередач відносно землі при лінійній напрузі до 1000 В повинна бути не меншою ніж 6 м.

Попереджувальна сигналізація є пасивним засобом захисту, який не усуває небезпеки ураження, а лише інформує про її наявність. Така сигналізація може бути світловою (лампочки, світло діоди і т.п.) та звуковою (зумери, дзвінки, сирени).

Мала напруга застосовується для зменшення небезпеки ураження електричним струмом. До малих напруг належать номінальні напруги, що не перевищують 42 В. При таких напругах струм, що може пройти через тіло людини є дуже малим і вважається відносно безпечним. Однак, гарантувати абсолютної безпеки неможливо, тому поряд з малою напругою використовують й інші способи та засоби захисту.

Малі напруги застосовують у приміщеннях з підвищеною небезпекою (напруга до 36 В включно) та в особливо небезпечних приміщеннях (напруга до 12 В включно) для живлення ручних електрифікованих інструментів, переносних світильників, для місцевого освітлення на виробничому устаткуванні.

Джерелами такої напруги можуть слугувати батареї гальванічних елементів, акумулятори, трансформатори і т.п.

Застосування малих напруг суттєво зменшує небезпеку ураження електричним струмом, однак при цьому зростає значення робочого струму, а відтак і площа поперечного перерізу, що в свою чергу збільшує витрати кольорових металів. Крім того, при малих напругах істотно зростають втрати електроенергії в мережі, що обмежує їх протяжність. У силу вищезазначених обставин малі напруги мають обмежене використання.

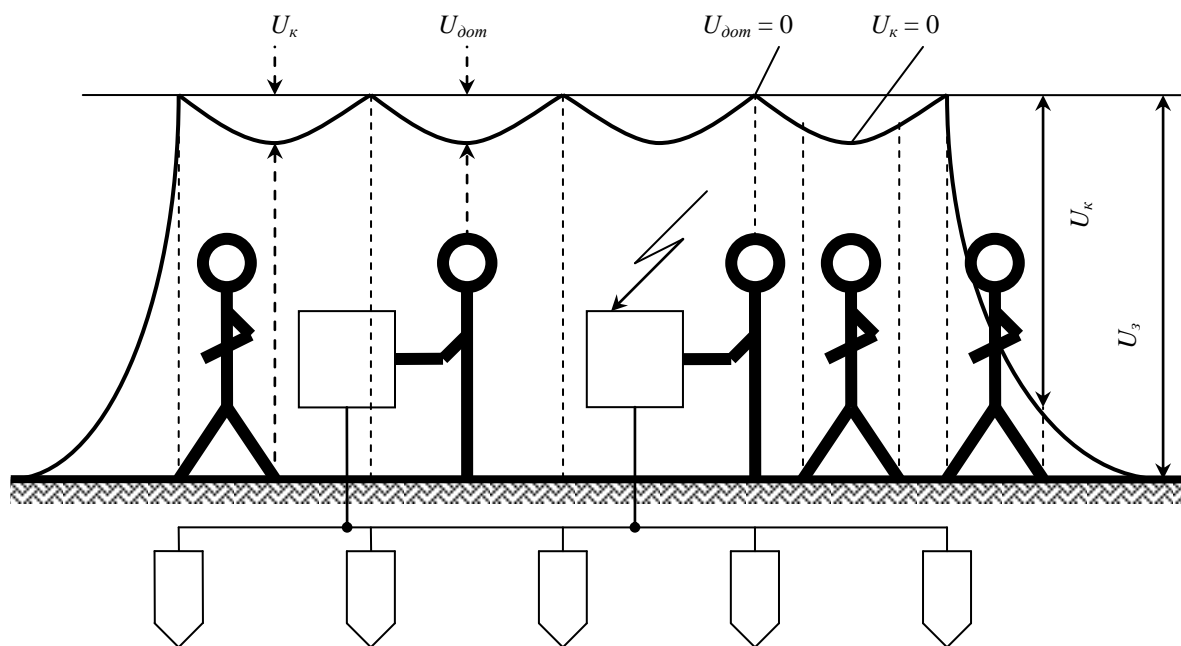


Рис. 9. Вирівнювання потенціалів при контурному заземленні

Вирівнювання потенціалів є способом зниження напруг доторкання та кроку між точками електричного кола, до яких можливе одночасне доторкання людини, або на яких вона може одночасно стояти. Вирівнювання потенціалів досягається шляхом штучного підвищення потенціалу опорної поверхні ніг до рівня потенціалу струмопровідної частини, а також при контурному заземленні. Вертикальні заземлювачі в контурному заземленні (рис. 9) розміщуються як по контуру, так і в середині захищеної зони і з'єднуються сталевими полосами. При замиканні струмопровідних частин на корпус, що приєднаний до такого контурного заземлення ділянки землі всередині контура набувають високих потенціалів, які наближаються до потенціалу заземлювачів. Завдяки цьому максимальні напруги доторкання U_{dom} та кроку U_k знижуються до допустимих значень.

Електричний поділ мереж передбачає поділ електромережі на окремі, електрично не з'єднані між собою, ділянки за допомогою роздільних трансформаторів РТ з коефіцієнтом трансформації 1:1 (рис. 10). Якщо єдину, сильно розгалужену мережу з великою ємністю та

малим опором ізоляції, поділити на низку невеликих мереж такої ж напруги, які мають незначну ємність та високий опір ізоляції, то при цьому різко зменшується небезпека ураження людини струмом.

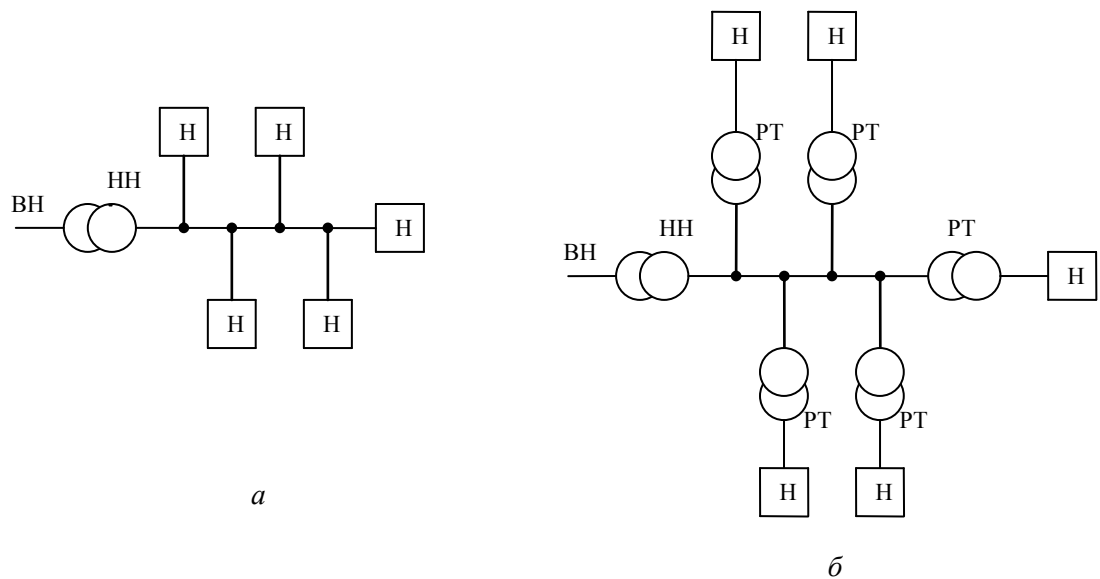


Рис. 10. Схема електричної мережі до (а) та після (б) поділу:
 Н – навантаження; РТ – роздільний трансформатор; ВН – мережа високої напруги;
 НН – мережа низької напруги

Технічні способи та засоби захисту при переході напруг на нормально неструмопровідні частини електроустановок

Захисне заземлення застосовують у мережах з напругою до 1000 В з ізольованою нейтраллю та в мережах напругою вище 1000 В з будь-яким режимом нейтралі джерела живлення (рис. 11).

Захисне заземлення – це навмисне електричне з'єднання із землею або з її еквівалентом металевих нормально не струмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою. Призначення захисного заземлення полягає в тому, щоб у випадку появи напруги на металевих конструктивних частинах електроустановки забезпечити захист людини від ураження електричним струмом при її доторканні до таких частин.

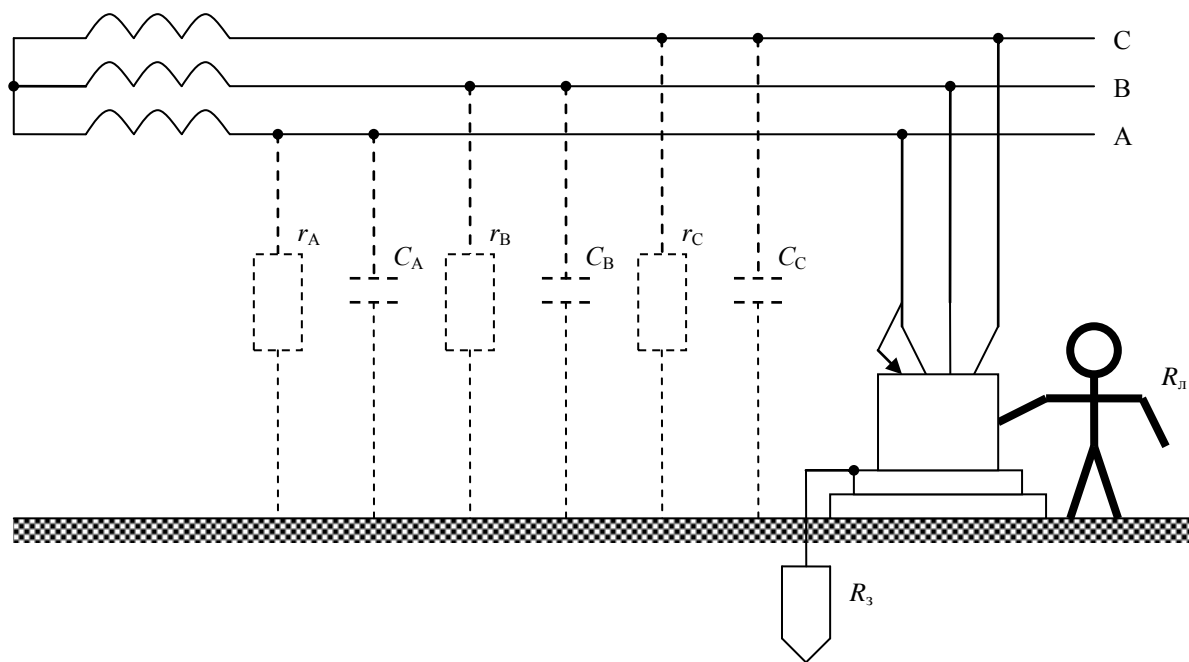
Принцип дії захисного заземлення в мережах з ізольованою нейтраллю полягає в зменшенні до безпечних значень напруги доторкання та кроку, зумовлених замиканням на корпус. Це досягається зменшенням потенціалу на корпусі заземленого устаткування, а також вирівнюванням потенціалів, тобто підвищенням потенціалу основи до потенціалу заземленого устаткування.

В електроустановках напругою вище 1000 В з ефективно заземленою нейтраллю замикання на корпус завдяки наявності захисного заземлення перетворюється на коротке замикання. При цьому спрацьовує максимальний струмів захист і пошкоджена ділянка електроустановки вимикається.

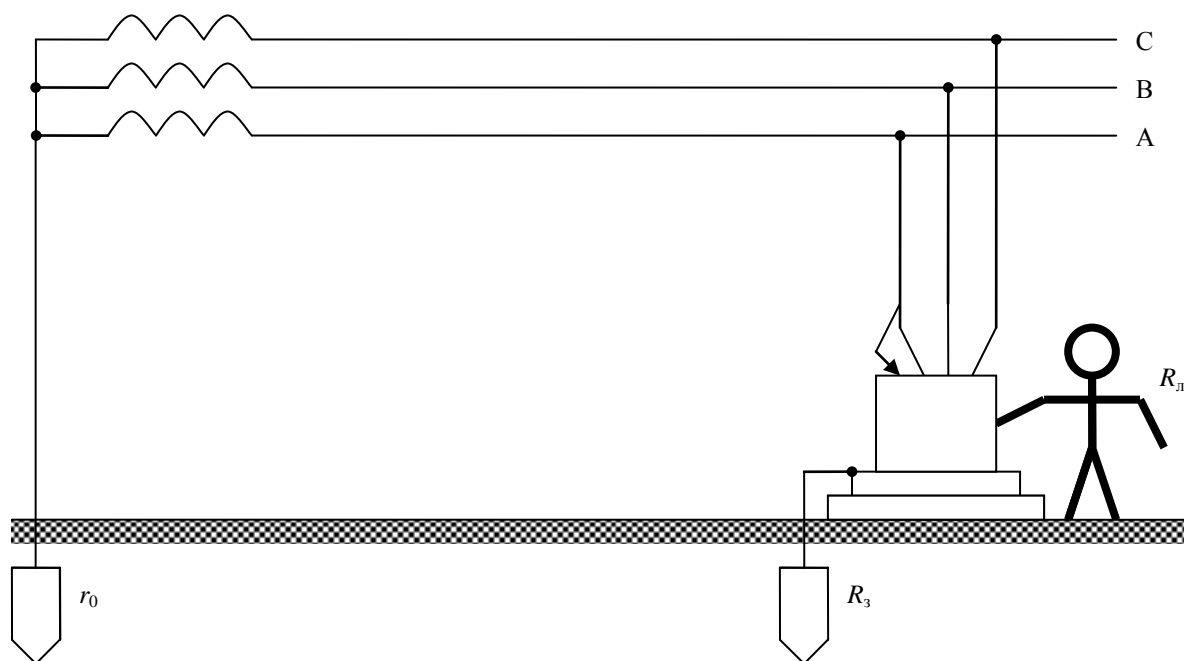
Якщо корпус устаткування є незаземленим і відбулося замикання нього однієї із фаз, то доторкання до такого корпуса рівнозначно доторканню до фази. Якщо ж корпус електрично з'єднаний із землею, то він опиниться під напругою замикання $U_3 = I_3 R_3$, а людина, яка доторкається до такого корпуса, згідно з формулою 16 потрапляє під напругу доторкання $U_{\text{дот}} = U_3 \alpha$. Струм, який пройде через людину, в такому випадку визначається із рівняння:

$$I_l = \frac{U_{\text{дот}}}{R_l} = \frac{I_3 R_3 \alpha}{R_l}, \quad (21)$$

звідки видно, що чим меншими є значення R_3 та α , тим менший струм пройде через тіло людини, яка стоїть на землі і доторкається до корпусу устаткування.



а



б

Рис. 11. Схема захисного заземлення: а – в електроустановках напругою до 1000 В та вище при ізольованій нейтралі мережі живлення; б – в електроустановках напругою вище 1000 В при заземленій нейтралі мережі живлення

Заземлювальним пристроєм називають сукупність конструктивно об'єднаних заземлювальних провідників та заземлювача. *Заземлювач* – провідник або сукупність електрично з'єднаних провідників, які перебувають у контакті із землею, або її еквівалентом. Заземлю-

вачі бувають природні та штучні. Як природні заземлювачі використовують електропровідні частини будівельних і виробничих конструкцій, а також комунікацій, які мають надійний контакт із землею (водогінні та каналізаційні трубопроводи, фундаменти будівель і т.п.). Для штучних заземлювачів використовують сталеві труби діаметром 35 – 50 мм (товщина стінок не менше 3,5 мм) та кутники (40×40 та 60×60 мм) довжиною 2,5 – 3,0 м, а також сталеві прутки діаметром не менше ніж 10 мм та довжиною до 10 м. В більшості випадків штучні вертикальні заземлювачі знаходяться у землі на глибині $h = 0,5 - 0,8$ м (рис. 12). Вертикальні заземлювачі з'єднують між собою штабою з поперечним перерізом не менше ніж 4×12 мм або прутком з діаметром не менше ніж 6 мм за допомогою зварювання. Приєднання заземлювального провідника до корпусу устаткування здійснюється зваркою або болтами.

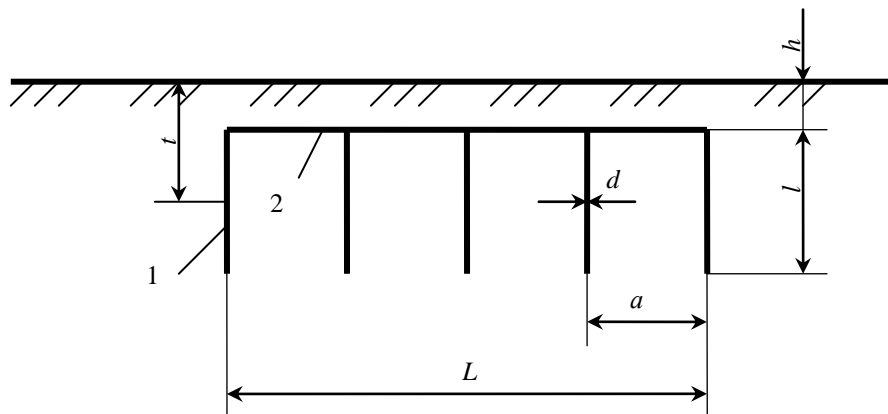


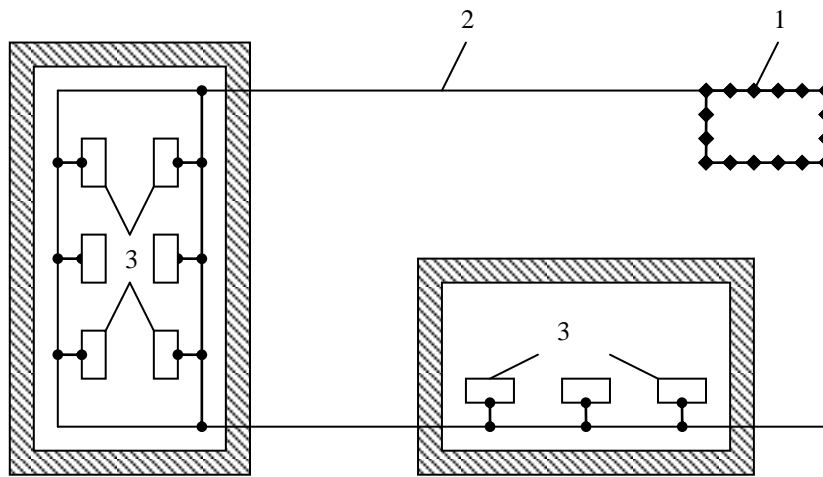
Рис. 12. Схема розташування заземлювачів: 1 – заземлювачі; 2 – заземлювальний провідник

Об'єкти, що підлягають заземленню приєднуються до магістралі заземлення виключно паралельно за допомогою окремого провідника (рис. 13).

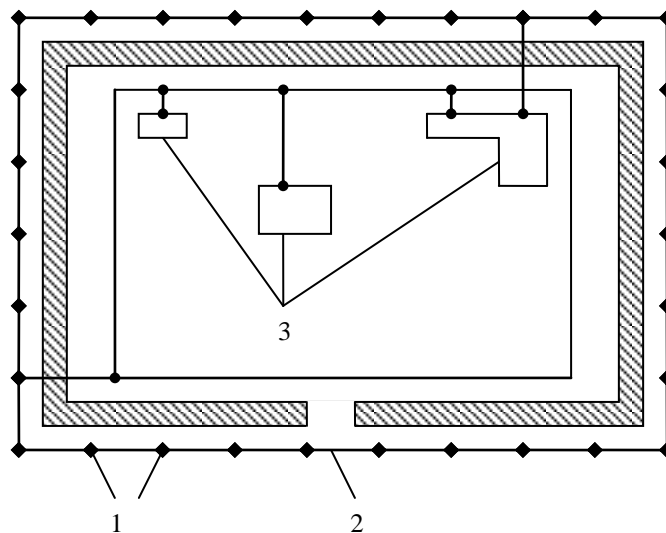
Залежно від розташування заземлювачів стосовно устаткування, що підлягає заземленню, розрізняють виносне (зосереджене) та контурне (розподілене) заземлення. Перевага виносного заземлення (рис. 13, а) полягає в тому, що можна вибрати місце розташування заземлювачів з найменшим опором ґрунту (землі). Заземлювачі контурного заземлення (рис. 13, б) розташовують безпосередньо біля периметра (контура) ділянки, на якій знаходиться заземлювальне устаткування. Це дозволяє вирівняти потенціали всередині контура, а відтак – знизити напругу доторкання та кроку. Тому більш ефективним з точки зору електробезпеки є контурне заземлення.

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 – $\frac{250}{I_s} \leq 10$ Ом;
 - те ж саме, але при умові, що заземлювач використовується одночасно для електроустановок напругою до 1000 В – $\frac{125}{I_s}$; при цьому приймається найменший розрахунковий опір або потрібний для електроустановок напругою до 1000 В.



а



б

Рис. 13. Виносне (а) та контурне (б) заземлення:
1 – заземлювачі; 2 – заземлювальні провідники; 3 - устаткування

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 небезпечністю, особливо небезпечних, а також у зовнішніх електроустановках;
- при будь-якій напрузі змінного та постійного струму – у вибухонебезпечних установках.

В процесі експлуатації електроустановок можливе порушення цілісності заземлювальних провідників та підвищення опору заземлення вище норми. Тому ПУЕ передбачено проведення візуального контролю (огляду) цілісності заземлювальних провідників та вимірювання опору заземлення. Такі вимірювання проводять, як правило, при найменшій провідності ґрунту: літом – при найбільшому висиханні чи зимою – при найбільшому промерзанні

грунту. Вимірювання опору заземлення належить проводити після монтажу електроустановки, після її ремонту чи реконструкції, а також не рідше одного разу на рік.

Занулення. Заземлення корпусів електрообладнання, що споживає електроенергію від мережі напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю джерела, неефективне, бо при замиканні фази на корпус напруга на ньому відносно землі досягає значення більшого чи рівного половині фазного, а струм замикання на землю недостатній для спрацьовування максимального струмового захисту. Тому в таких мережах застосовується занулення корпусів електроустановки.

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

Нульовий захисний провідник – це провідник, який з'єднує частини, що підлягають зануленню, з глухозаземленою нейтральною точкою обмотки джерела струму або її еквівалентом.

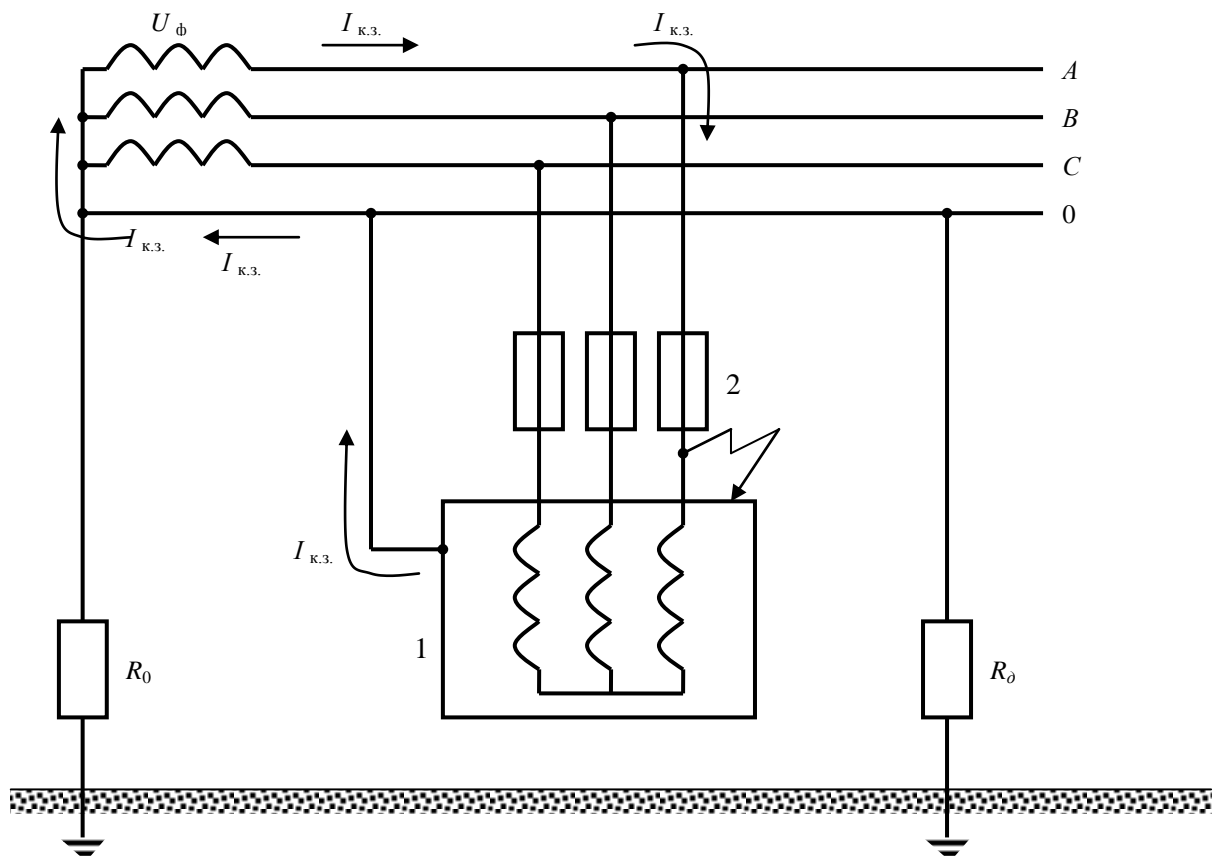


Рис. 14. Схема занулення

Принцип дії занулення полягає в перетворенні замикання фази на корпус в однофазне коротке замикання, тобто замикання між фазним і нульовим провідниками, з метою одержання великого струму, здатного забезпечити спрацьовування максимального струмового захисту. Внаслідок цього електроустановка автоматично вимикається апаратом захисту від струмів короткого замикання. Сила цього струму обумовлюється фазною напругою та повним опором ланцюга короткого замикання (петля фаза – нуль) і визначається за формулою:

$$I_K = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{(R_{\phi} + R_0)^2 + \omega^2 \cdot (L_{\phi} + L_0)^2 + \frac{Z_T^2}{3}}}, \quad (22)$$

де R_{ϕ} – активний опір фазного провідника, Ом; R_0 – активний опір нульового провідника, Ом; L_{ϕ} – індуктивність фазного провідника, Гн; L_0 – індуктивність нульового провідника, Гн; Z_T – розрахунковий опір трансформатора, Ом.

Для зменшення небезпеки ураження струмом, яка виникає внаслідок обриву нульового провідника, влаштовують (багатократно) додаткове заземлення нульового провідника R_0 (рис. 14).

У схемі без повторного заземлення нульового провідника потенціал відносно землі корпусу пошкодженого обладнання, якщо зневажати опором трансформатора та індуктивним опором петлі фаза – нуль, при замиканні фази на корпус визначається залежністю:

$$\varphi_k = U_\phi \cdot \frac{R_0}{R_\phi + R_0}, \quad (23)$$

а при наявності повторного заземлення нульового провідника:

$$\varphi_k = U_\phi \cdot \frac{R_0}{R_\phi + R_0} \cdot \frac{R_0}{R_0 + R_0}. \quad (24)$$

У випадку обриву нульового провідника між джерелом живлення та пошкодженим електрообладнанням потенціал корпусу відносно землі, якщо немає повторного заземлення нульового провідника, дорівнює фазній напрузі $\varphi_k = U_\phi$, а при наявності повторного заземлення:

$$\varphi_k = U_\phi \cdot \frac{R_0}{R_0 + R_0}. \quad (25)$$

Таким чином, повторне заземлення нульового провідника в період замикання фази на корпус знижує напругу доторкання до зануленого електрообладнання як при справній схемі, так і у випадку обриву нульового провідника.

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

$$I_L = \frac{\varphi_k}{R_L}. \quad (26)$$

До схеми занулення ПУЕ пред'являють 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 із зворотною залежною характеристикою. При захисті мережі автоматичними вимикачами, які мають тільки електромагнітний розщиплювач, кратність струму приймається 1,1; при відсутності заводських даних коефіцієнт приймається 1,4 для автоматів з номінальним струмом до 100 А, для інших – 1,25.
2. повна провідність нульового провідника у всіх випадках повинна бути не менше 50% провідності фазного провідника.
3. щоб забезпечити безперервність кола занулення, забороняється встановлення в нульовий провідник запобіжників та вимикачів. Виняток допускається тільки в тому випадку, коли вимикач разом із нульовим провідником розмикає й усі фазні провідники.
4. опір заземлюючого пристрою, до якого приєднуються нейтралі джерел живлення (робоче заземлення R_0), не може перевищувати значень, які наведені в табл. 5. ці опори повинні забезпечуватись з урахуванням використання природних заземлювачів, а також заземлювачів повторних заземлень нульового провідника повітряних ліній електропередачі до напругою 1000 В при кількості ліній, що відходять, не менше двох. Але при цьому повинні передбачатися і штучні заземлювачі з опором, значення яких не повинні перевищувати дані, наведені в табл. 5.

Таблиця 5

Напруга мережі, В	Найбільші допустимі опори заземлюючих пристроїв, Ом			
	Заземлень нейтралі трансформаторів, R_0		Повторних заземлень нульового провідника, R_0	
	Еквівалентне (з урахуванням природних заземлювачів і повторних заземлень нульового провідника)	В тому числі лише штучних заземлень	Еквівалентний опір всіх повторних заземлень	В тому числі опір кожного повторного заземлення
660/380	2	15	5	15
380/220	4	30	10	30
220/127	8	60	20	60

Примітка. Якщо питомий опір ρ землі більший 100 Ом•м, допускається збільшувати указаний в таблиці опір в $0,01 \cdot \rho$ раз, але не більш ніж десятикратно.

5. Повторне заземлення нульового провідника повинне виконуватись на кінцях повітряних ліній або відгалужень довжиною більше 200 м, а також на вводах повітряних ліній у приміщення, електроустановки яких підлягають зануленню.

6. загальний опір заземлюючих пристроїв всіх повторних заземлень нульового провідника і кожного повторного заземлення не повинен перевищувати значень, наведених в табл. 5.

Слід зазначити, що одночасне заземлення та занулення корпусів електроустановок значно підвищує їх електробезпеку.

Захисне вимикання застосовується, як основний або додатковий засіб, якщо безпека не може бути забезпечена шляхом влаштування заземлення, або іншими способами захисту.

Захисне вимикання – це швидкодіючий захист, який забезпечує автоматичне вимкнення електроустановки (не більше ніж 0,2 с) при виникненні в ній небезпеки ураження струмом.

Існує багато схем захисного вимикання.

Електрозахисні засоби та запобіжні пристосування

Електрозахисними засобами називаються вироби, що переносяться та перевозяться і слугують для захисту людей, які працюють з електроустановками, від ураження електричним струмом, від дії електричної дуги та електромагнітного поля.

Залежно від призначення електрозахисні засоби підрозділяються на ізолювальні, огорожувальні та запобіжні.

Ізолювальні електрозахисні засоби призначені для ізоляції людини від частин електроустановок, що знаходяться під напругою та від землі, якщо людина одночасно доторкається до землі чи заземлених частин електроустановок та струмопровідних частин чи металевих конструктивних елементів (корпусів), які опинилися під напругою.

Розрізняють основні та додаткові електрозахисні засоби. До *основних* належать такі електрозахисні засоби, ізоляція яких протягом тривалого часу витримує робочу напругу електроустановки, і тому ними дозволяється доторкатись до струмопровідних частин, що знаходяться під напругою:

- при роботах у електроустановках з напругою до 1000 В – діелектричні рукавички, ізолювальні штанги, інструменти з ізолюваними ручками, струмовимірювальні кліщі;

- при роботах в електроустановках з напругою вище 1000 В – ізолювальні штанги, струмовимірювальні та ізолювальні кліщі, покажчики напруги.

Додаткові ізолювальні захисні засоби мають недостатні ізолювальні властивості, тому призначені лише для підсилення захисної дії основних засобів, разом з якими вони і застосовуються. До них належать:

- при роботах у електроустановках з напругою до 1000 В – діелектричні калоші, килимки, ізолювальні підставки;

- при роботах в електроустановках з напругою вище 1000 В – діелектричні рукавички, боти, килимки, ізолювальні підставки.

Огороджувальні електрозахисні засоби призначені для тимчасового огорожування струмопровідних частин (щити, бар'єри, переносні огорожі), а також для заземлення вимкнених струмопровідних частин з метою запобігання ураження струмом при випадковій появі напруги (тимчасове заземлення).

Запобіжні електрозахисні засоби та пристосування призначені для захисту персоналу від випадкового падіння з висоти (запобіжні пояси); для забезпечення безпечного піднімання на висоту (драбини, „кігті”), для захисту від світлової, теплової, механічної дії електричної дуги (захисні окуляри, щитки, спецодяг, рукавички тощо).

Організаційні та технічні заходи електробезпеки

До роботи на електроустановках допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли інструктаж та навчання з безпечних методів праці, перевірку знань правил безпеки та інструкцій відповідно до займаної посади та кваліфікаційної групи з електробезпеки, і які не мають проти показів, визначених Міністерством охорони здоров'я України.

Для забезпечення безпеки робіт у діючих електроустановках належить виконувати наступні організаційні заходи:

- призначення осіб, які відповідають за організацію та проведення робіт;
- оформлення наряду чи розпорядження на проведення робіт;
- організація нагляду за проведенням робіт;
- оформлення закінчення робіт, перерв у роботі, переведення на інші робочі місця.

До технічних заходів, які необхідно виконувати в діючих електроустановках для забезпечення безпеки робіт належать:

1. при проведенні робіт зі зняттям напруги в діючих електроустановках чи поблизу них:
 - вимкнення установки (частини установки) від джерела живлення електроенергії;
 - механічне блокування приводів апаратів, які здійснюють вимкнення, зняття запобіжників, від'єднання кінців лінії, яка здійснює електропостачання та інші заходи, що унеможливають випадкову подачу напруги до місця проведення робіт;
 - встановлення знаків безпеки та захисних огорож біля струмопровідних частин, що залишаються під напругою і до яких в процесі роботи можливе доторкання або наближення на недопустиму відстань;
 - встановлення заземлення (ввімкнення заземлювальних ножів чи встановлення переносних заземлень);
 - огороження робочого місця та вивішування плакатів безпеки;
2. при проведенні робіт на струмопровідних частинах, які знаходяться під напругою та поблизу них:
 - виконання робіт за нарядом не менш ніж двома працівниками зі застосуванням електрозахисних засобів, під постійним наглядом, із забезпеченням безпечного розташування працівників, використовуваних механізмів та пристосувань.

Кваліфікаційні групи з електробезпеки електротехнічного персоналу

До *електротехнічного персоналу* належать особи, які обслуговують і експлуатують електроустановки. Для електротехнічного персоналу встановлено п'ять кваліфікаційних груп з електробезпеки.

I група. Група присвоюється особам, які не мають спеціальної електротехнічної підготовки, але мають елементарну уяву про небезпеку ураження електричним струмом і про заходи електробезпеки при роботі на обслуговуваній дільниці, електроустановці. Для I групи стаж роботи в електроустановках не нормується.

II група. Особи цієї групи повинні мати елементарне технічне знайомство з електроустановками, чітко уявляти небезпеку ураження електрострумом, наближення до струмопровідних частин, знати основні заходи безпеки при роботі на електроустановках, вміти надати першу допомогу.

III група. Особи, що належать до цієї групи, повинні:

- знати будову електричних установок та вміти їх обслуговувати;
- мати уяву про небезпеку під час обслуговування електричних установок;

- знати загальні правила техніки безпеки, правила допуску до роботи в електричних установках напругою до 1000 В, спеціальні правила техніки безпеки з тих робіт, які входять до кола обов'язків даної особи;
- вміти здійснювати нагляд за тими, хто працює з електроустановками та надавати першу допомогу.

IV група. Особи цієї групи повинні:

- мати знання з електротехніки в обсязі спеціалізованого профтехучилища;
- мати повну уяву про небезпеку під час роботи на електроустановках;
- знати повністю правила технічної експлуатації (ПТЕ) та правила технічної безпеки (ПТБ) при експлуатації електроустановок;
- знати установку на стільки, щоб вільно орієнтуватись у тому, які саме елементи повинні бути вимкненими для безпечного виконання робіт;
- перевіряти виконання необхідних заходів з техніки безпеки;
- вміти організувати безпечне виконання робіт та здійснювати нагляд за ними в електричних установках напругою до 1000 В;
- знати схему та обладнання своєї ділянки;
- вміти навчати персонал інших груп правилам техніки безпеки;
- вміти надавати першу допомогу потерпілому.

V група. Особи цієї групи повинні:

- знати всі схеми та обладнання своєї ділянки;
- знати ПТЕ та ПТБ в загальній та спеціальній частинах;
- знати, чим викликана та чи інша вимога правил;
- вміти організувати безпечне виконання робіт та здійснювати нагляд в електричних установках будь-якої напруги;
- навчати персонал інших груп правил техніки безпеки;
- вміти надавати першу допомогу.

Надання першої допомоги при ураженні електричним струмом

Перша допомога при ураженні електричним струмом складається з двох етапів:

1. звільнення потерпілого від дії електричного струму;
2. надання йому необхідної долікарської допомоги.

Звільнення потерпілого від дії електричного струму. При ураженні електричним струмом необхідно, перш за все, негайно звільнити потерпілого від дії струму, оскільки від тривалості такої дії вагомо залежить важкість електротравми. Необхідно пам'ятати, що діяти треба швидко, але в той же час обережно, щоб самому не потрапити під напругу. найбезпечніший спосіб звільнення потерпілого від дії електричного струму – це вимкнення електроустановки, до якої доторкається потерпілий за допомогою найближчого вимикача, рубильника, чи іншого апарата для знеструмлення.

Якщо вимкнути досить швидко немає змоги, то необхідно звільнити потерпілого від струмопровідних частин, до яких він доторкається.

Для звільнення потерпілого від струмопровідних частин або проводу напругою до 1000 В необхідно скористатись палицею, дошкою, або будь-яким іншим сухим предметом, що не проводить електричний струм. При цьому бажано ізолювати себе від землі (стати на суху дошку, неструмопровідну підстилку). Можна також перерубати проводи сокирою з сухим дерев'яним топорищем або перекусити їх інструментом з ізольованими ручками (кусачками, пасатиками і т.п.). перерубувати чи перекусувати проводи необхідно пофазно, тобто кожний провід окремо.

Для звільнення потерпілого від струмопровідних частин можна також відтягнути його за одяг (якщо він сухий і відстає від тіла), наприклад за поли халата чи піджака. При цьому необхідно уникати доторкання до навколишніх металевих предметів та відкритих частин ті-

ла. Для ізоляції рук, особливо коли необхідно доторкнутися до тіла потерпілого, рятівник повинен надягнути діелектричні рукавички або обмотати руку сухим одягом (наприклад шарфом або сухою матерією). При відтягуванні потерпілого від струмопровідних частин рекомендується це робити однією рукою.

Якщо електричний струм проходить у землю через потерпілого і він судомно стискає у руці один струмопровідний елемент (наприклад провід), то простіше припинити дію струму, відокремивши потерпілого від землі (підсунувши під нього суху дошку або відтягнувши ноги від землі мотузкою, чи за сухі штани). При цьому необхідно пам'ятати про особисту безпеку.

Для звільнення потерпілого від струмопровідних частин та проводів, що знаходяться під напругою вище 1000 В необхідно надягнути діелектричні рукавички та боти і діяти ізолювальною штангою або кліщами, що розраховані на відповідну напругу. При цьому необхідно пам'ятати про небезпеку крокової напруги, якщо провід лежить на землі.

Надання долікарської допомоги. Після припинення дії електричного струму на людину необхідно викликати лікаря, однак до його прибуття слід надати потерпілому необхідну допомогу. Заходи долікарської допомоги залежать від стану, в якому перебуває потерпілий. Для оцінки стану потерпілого перевіряють наявність у нього свідомості, дихання, пульсу. Потерпілий, після звільнення від дії електричного струму, може перебувати, як правило, в одному з трьох станів:

- при свідомості;
- непритомний, однак у нього є дихання та пульс;
- в стані клінічної смерті (відсутнє дихання та не прощупується пульс).

Якщо потерпілий при свідомості, то його слід покласти на підстилку із тканини чи одягу, створити приплив свіжого повітря, розстібнути одяг, що стискає та перешкоджає диханню, розтерти та зігріти тіло і забезпечити спокій до прибуття лікаря. Потерпілому, що знаходиться в непритомному стані, слід дати понюхати ватку, змочену нашатирним спиртом або обприскати лице холодною водою. Якщо потерпілий прийде до тями, йому слід дати випити 15–20 крапель настоянки валеріани та гарячого чаю.

При відсутності ознак життя (дихання та пульсу) потрібно негайно розпочати серцево-легеневу реанімацію (СЛР), адже імовірність успіху тим менша чим більше часу пройшло від початку клінічної смерті. До заходів СЛР належать штучне дихання та непрямий (закритий) масаж серця. Штучне дихання виконується способом „з рота в рот” або „з рота в ніс”. Людина, яка надає допомогу робить видих із своїх легень в легені потерпілого безпосередньо в його рот чи ніс; у повітрі, що видихається людиною є ще досить кисню. Попередньо потерпілого необхідно покласти спиною на тверду рівну поверхню, звільнити від одягу, що стискає (розстебнути комір сорочки, пасок, послабити краватку), підкласти під лопатки невеликий валик з будь-якого матеріалу (можна одягу), відхилити голову максимально назад.

Перед початком штучного дихання слід переконатися в прохідності верхніх дихальних шляхів, які можуть бути закриті запавши язиком, сторонніми предметами, накопиченим слизом.

Рятівник робить глибокий вдих, а потім, щільно притиснувши свій рот через марлю до рота потерпілого (при цьому, як правило, закриває ніс потерпілого своєю щогою), вдуває повітря в легені. При цьому грудна клітка потерпілого розширяється. За рахунок еластичності легень та грудної стінки потерпілий робить пасивний видих. В цей час його рот повинен бути відкритим. Частота вдування повітря повинна складати 12 разів за хвилину. Аналогічно проводиться штучне дихання способом „з рота в ніс”, при цьому вдувають повітря через ніс, а рот потерпілого повинен бути закритим.

При проведенні штучного дихання слід бути уважним, оскільки коли у потерпілого з'являються перші ознаки слабкого поверхневого дихання, то необхідно до нього пристосувати ритм штучного дихання.

Слід зазначити, що є спеціальні засоби для штучного дихання, які, перш за все, дозволяють уникнути прямого контакту між ротом потерпілого та ротом рятівника. Саме ця обставина іноді створює своєрідний психологічний бар'єр у невідготовленого рятівника. Для

того, щоб не завдати шкоди потерпілому рятівник повинен вміти користуватись такими засобами. В загальному, застосування спеціальних засобів штучного дихання не суттєво сприяє підвищенню якості реанімації і, саме головне, призводить до втрати часу, що може іноді виявитись вирішальним для життя потерпілого.

У випадку зупинки серця, яку можна визначити за відсутністю у потерпілого пульсу на сонній артерії і за розширенням зіниці або його фібриляції, необхідно одночасно з штучним диханням проводити непрямий масаж серця.

При необхідності проведення непрямого масажу серця потерпілого кладуть спиною на тверду поверхню (підлога, стіл), оголюють його грудну клітку, розстібають пасок. Рятівник стає зліва чи справа від потерпілого, поклавши на нижню третину грудної клітки кисті рук (одна на другу), енергійно (поштовхами) натискує на неї. Натискувати потрібно досить різко, використовуючи при цьому вагу власного тіла, і з такою силою, щоб грудна клітка прогиналась на 4–5 см в сторону до хребта. Необхідна частота натискувань становить 60 – 65 разів за хвилину.

Масаж серця необхідно поєднувати з штучним диханням. Якщо СЛР здійснює одна людина, то заходи щодо рятування потерпілого необхідно проводити в такій послідовності: після двох глибоких вдубань у рот чи ніс зробити 15 натискувань на грудну клітку, потім знову повторити два вдубання і 15 натискувань для масажу серця і т.д. якщо допомогу надають двоє рятівників, то один повинен робити штучне дихання, а інший – непрямий масаж серця, причому в момент вдубання повітря масаж серця припиняють. Після одного вдубання повітря в легені потерпілого необхідно п'ять разів натиснути на його грудну клітку.

Заходи щодо оживлення можна вважати ефективними, якщо:

- звузилися зіниці,
- шкіра починає рожевіти (в першу чергу шкіра верхньої губи),
- при масажних поштовхах явно відчувається пульс на сонній артерії.

Штучне дихання та непрямий масаж серця необхідно виконувати доти, поки у потерпілого повністю не відновиться дихання та робота серця або поки не прибуде швидка медична допомога.

Захист від статичної електрики

Статична електрика – це сукупність явищ, що пов'язані з виникненням, накопиченням та релаксацією вільного електричного заряду на поверхні або в об'ємі діелектричних та напівпровідникових речовин, матеріалів та виробів. Виникнення зарядів статичної електрики є результатом складних процесів перерозподілу електронів чи іонів при стиканні двох різно-рідних тіл (речовин).

Порушення поверхневого контакту при терті тіл призводить до *електризації* - виникнення електричних зарядів, які можуть утримуватись на поверхні цих тіл протягом тривалого часу. Такі заряди, на відміну від рухомих зарядів динамічної електрики (електричний струм) знаходяться у статичному стані.

Електричні заряди виникають:

- при терті діелектричних тіл один об одного або об метал (наприклад, пасові передачі);
- при переливанні, перекачуванні, перевезенні в ємностях горючих та легкозаймистих рідин;
- при транспортуванні горючих газів трубопроводом;
- при подрібненні діелектриків;
- при переміщенні сухого запиленого повітря зі швидкістю понад 15 – 20 м/с і

т.п.

За сприятливих умов, наприклад, при низькій вологості повітря статичні заряди не лише утворюються, а й накопичуються. Коли в результаті такого накопичення вони набудуть високого потенціалу, то може виникнути швидкий іскровий розряд між частинами устатку-

вання або розряд на землю. Такий іскровий розряд при наявності горючих сумішей може спричинити вибух чи пожежу. В цьому і полягає основна небезпека статичної електрики.

Заряди статичної електрики можуть утворюватись чи передаватись (контактним або індукційним шляхом) тілу людини. Якщо виникнуть іскрові розряди, то вони викликають фізіологічну дію у вигляді уколу чи незначного поштовху, які самі по собі не являють небезпеки для людини (сила струму розряду дуже мала). Однак, враховуючи неочікуваність такого розряду, у людини може виникнути переляк, внаслідок якого може відбутись рефлекторний рух, що в низці випадків призводить до травмування (робота на висоті, біля рухомих незахищених частин устаткування тощо).

Систематичний вплив електростатичного поля підвищеної напруженості негативно впливає на організм людини, викликаючи, в першу чергу, функціональні розлади центральної нервової та серце-судинної систем. Відповідно до ГОСТ 12.1.045-84 гранично допустима напруженість електричного поля $E_{дон}$ на робочих місцях не повинна перевищувати 60 кВ/м, якщо час впливу t_e не перевищує 1 год; при 1 год $< t_e < 9$ год – $E_{дон} = 60\sqrt{t_e}$.

Захист від статичної електрики та її небезпечних проявів досягається трьома основними способами:

1. запобіганням виникнення та накопичення статичної електрики,
2. прискоренням стікання електростатичних зарядів,
3. нейтралізацією електростатичних зарядів.

Запобігти виникненню статичної електрики чи зменшити її величину можна заміною небезпечної технології, зменшенням швидкості руху речовини по трубопроводу, виготовленням поверхонь, що труться, з однорідних матеріалів.

Прискоренню стікання зарядів сприяє заземлення устаткування, збільшення електропровідності матеріалів шляхом нанесення на їх поверхню антистатичних добавок чи присадок, підвищення відносної вологості повітря.

Нейтралізація зарядів статичної електрики здійснюється внаслідок іонізації повітря індукційними, високовольтними, радіоактивними та комбінованими нейтралізаторами.

Захист від атмосферної електрики (блискавки)

Блискавкозахист – це система захисних пристроїв та заходів, що призначені для забезпечення безпеки людей, збереження будівель та споруд, устаткування та матеріалів від можливих вибухів, займань та руйнувань, спричинених блискавкою.

Блискавка – особливий вид проходження електричного струму через величезні повітряні прошарки, джерелом якого є атмосферний заряд, накопичений грозовою хмарою. Умови утворення таких хмар – велика вологість та швидка зміна температури повітря. За таких умов у атмосфері Землі проходять складні фізичні процеси, які призводять до утворення та накопичення електричних зарядів. При підвищенні напруженості електричного поля до критичних значень виникає розряд, який супроводжується яскравим свіченням (блискавкою) та звуком (громом). Довжина каналу блискавки може досягати кількох кілометрів, сила струму – 200 000 А, напруга – 150 000 кВ, а температура – 10 000 °С і більше. Час існування блискавки – 0,1 – 1 с.

Розрізняють первинні (прямий удар) і вторинні прояви блискавки.

Прямий удар блискавки (ураження блискавкою) – безпосередній контакт каналу блискавки з будівлею чи спорудою, що супроводжується протіканням через неї струму блискавки. Прямий удар блискавки здійснює на уражений об'єкт наступні дії:

- електричну, що пов'язана з ураженням людей і тварин електричним струмом та виникненням напруг на елементах, по яких струм відводиться в землю;
- теплову, що зумовлена значним виділенням теплоти на шляхах проходження струму блискавки через об'єкт;
- механічну, що спричинена ударною хвилею, яка поширюється від каналу блискавки, а також електродинамічними силами, що виникають у конструкціях, через які проходить струм блискавки.

Виконання роботи

1. Дослідити залежність сили струму, який протікає через тіло людини, та напруги на ній від опору витоку мережі при дотику до пошкодженого обладнання при ізольованій нейтралі мережі живлення (рис. 11, а).

Таблиця 6

Характеристика заземлення корпусу	R_n , кОм	r , кОм	C , мкФ	I_n , мА	U_n , 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 $I_n = f(r)$ та $U_n = f(r)$ для випадків дотику до незаземленого корпусу, заземленого з великим опором заземлення та з опором заземлення, відповідним нормі. Залежність $I_n = f(r)$ для усіх трьох випадків побудувати на одному графіку, а $U_n = f(r)$ – на іншому.

3. Визначити силу струму, що протікає через тіло людини, і напругу на ній при доторканні до корпусу обладнання при заземленій нейтралі мережі живлення та напрузі живлення вище 1000 В (рис. 11, б).

Таблиця 7

Режим дослідження	I_n , мА	U_n , 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 силу струму, що протікає через тіло людини, і напругу на ній при доторканні до корпусу обладнання при заземленій нейтралі мережі живлення та напрузі живлення до 1000 В (рис. 14).

Таблиця 8

Режим дослідження	Струм в нульовому проводі, А	I_n , мА	U_n , В
1. Корпус занулений			
2. Корпус занулений, нульовий провід повторно заземлений з опором заземлення значно більшим норми			
3. Корпус занулений, нульовий провід повторно заземлений з опором заземлення, що відповідає нормі			

5. Визначити силу струму, що протікає через тіло людини, та напругу кроку

Таблиця 9

Напру- га еле- ктроус- танов- ки, кВ	Сила струму зами- кання на зем- лю, А	Опір зазем- лення, Ом	Виміряні та обчи- слені парамет- ри	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		∞	$I_{л1}$, мА												
			$U_{к3}$, В												
			$R_{л3}$, Ом												
		0,5		$I_{л2}$, мА											
				$U_{к2}$, В											
				$R_{л2}$, Ом											
		10		$I_{л1}$, мА											
				$U_{к1}$, В											
				$R_{л1}$, Ом											
		50		$I_{л1}$, мА											
				$U_{к1}$, В											
				$R_{л1}$, Ом											
35		∞	$I_{л1}$, мА												
			$U_{к3}$, В												
			$R_{л3}$, Ом												
		0,5		$I_{л2}$, мА											
				$U_{к2}$, В											
				$R_{л2}$, Ом											
		10		$I_{л1}$, мА											
				$U_{к1}$, В											
				$R_{л1}$, Ом											
		50		$I_{л1}$, мА											
				$U_{к1}$, В											
				$R_{л1}$, Ом											

6. За даними вимірювань побудувати графіки $I_l = f(l)$ і $U_k = f(l)$. Побудувати вольт-амперну характеристику тіла людини $I_l = f(U_k)$.

7. Для кожного значення U_k обчислити опір тіла людини і побудувати графік $R_l = f(U_k)$.

Сила струму, що протікає через тіло людини визначається за формулою:

$$I_l = \frac{U_k}{R_l + R_k} \approx \frac{U_k}{R_l + 6 \cdot \rho_n}, \quad ()$$

де R_l – опір тіла людини, Ом; R_k – опір розтікання струму в ґрунті між точками, в яких знаходяться ноги людини („опір кроку”), якщо знехтувати опором взуття, то $R_k \approx 6 \cdot \rho_n$, де ρ_n – питомий опір ґрунту поверхні.