

Міністерство освіти і науки України
НТУ «Дніпровська політехніка»

В.І. ГОЛІНЬКО



ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

Навчальний посібник

ДНІПРО
2025

Голінько В.І. Електробезпека. Навчальний посібник – Дніпропетровськ, НТУ «Дніпровська політехніка» – 2025. – 87 с.

Розглянуті питання створення безпечних умов праці при використанні електроенергії. Значну увагу приділено аналізу вражаючої дії електричного струму та вивченню колективних і індивідуальних засобів захисту.

Навчальний посібник відповідає вимогам програми курсу “Електробезпека” для студентів напряму підготовки 26 - “Цивільна безпека”, спеціальність – 263 Цивільна безпека. Його матеріал може бути цікавим широкому колу читачів, які цікавляться проблемами електробезпеки.

© В.І. Голінько

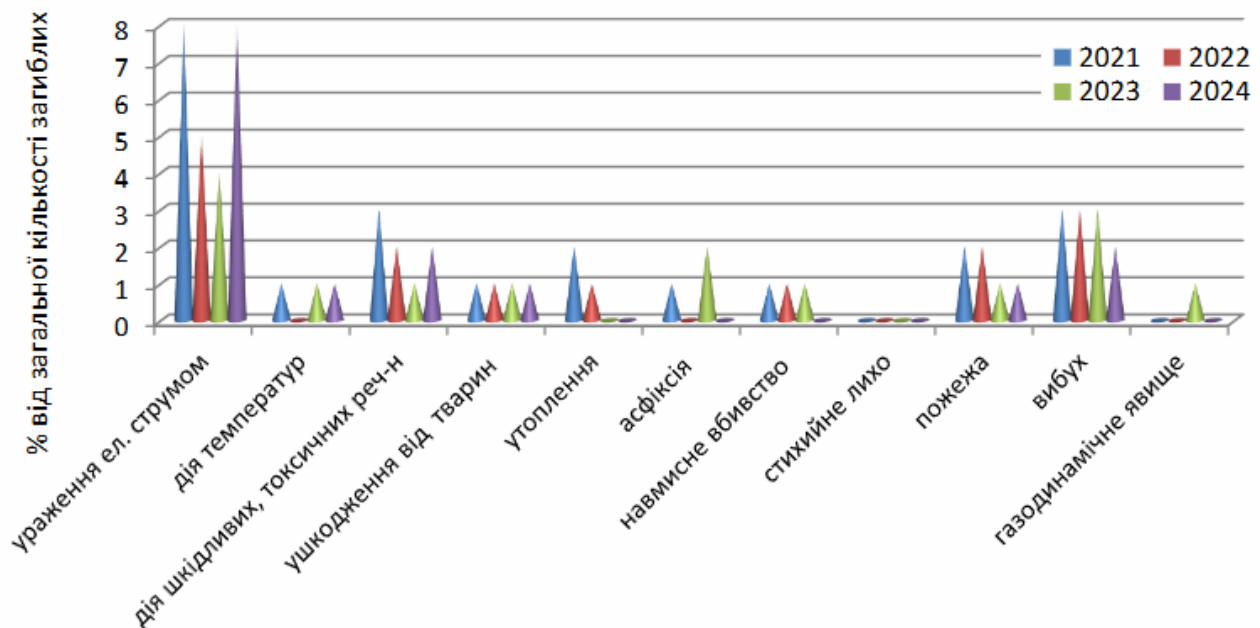
ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. Основні поняття та стан електробезпеки в Україні	6
2. Дія електричного струму на людину	7
3. Фактори, що впливають на наслідки ураження електричним струмом	11
4. Класифікація електроустановок та приміщень за небезпекою ураження електричним струмом	17
5. Причини електротравм та умови ураження людини електричним струмом	19
6. Розтікання струму при замиканні на землю	20
7. Аналіз небезпеки ураження струмом в різних електричних мережах.....	27
8. Система засобів та заходів з безпечної експлуатації електроустановок	32
9. Засоби та заходи електробезпеки, що використовуються за нормального режиму роботи електроустановок	34
10. Захисне заземлення	39
11. Занулення	45
12. Автоматичке вимикання живлення	51
13. Електрозахисні засоби	57
14. Блискавкозахист	61
15. Електромагнітні поля та випромінювання	63
16. Організаційні заходи щодо попередження електротравм	72
17. Загальні вимоги правил безпеки до застосування електрообладнання в шахтах	76
18. Перша допомога при ураженні електричним струмом	82
19. Контрольні запитання	86

ВСТУП

У виробничих умовах за абсолютними значеннями електротравматизм в Україні у середньому щорічно складає близько 500 випадків, у тому числі зі смертельними наслідками – близько 150 випадків на рік. Широке використання електроенергії у всіх галузях господарства зумовлює розширення чисельності осіб, пов'язаних з експлуатацією електрообладнання. Тому проблема електробезпеки при експлуатації електрообладнання набуває особливого значення.

За статистичними даними частка електротравм у загальному виробничому травматизмі в середньому складає близько 1%, а в смертельному доходить до 10%, що більше, ніж внаслідок дії інших причин. Слід відзначити, що до 80% смертельних уражень електричним струмом відбувається в електроустановках напругою до 1000 В. Це обумовлено значною поширеністю низьковольтних електроустановок і тим, що до них мають доступ практично всі працюючі, в той час як електроустановки напругою понад 1000 В обслуговуються виключно висококваліфікованим персоналом.



Крім виробництва, електроенергія з кожним роком знаходить все більше застосування в побуті. Недотримання вимог безпеки в цьому випадку су-

проводжується електротравмами, щорічна кількість яких значно перевищує виробничі електротравми.

Наведене вище свідчить про наявність в Україні серйозної проблеми з електротравматизмом. За кожною електротравмою, і особливо тяжкою, стоїть трагедія особи, сім'ї, суспільства, значні матеріальні втрати і втрати трудових ресурсів, несприятливі для суспільства моральноетичні та соціально-політичні наслідки.

Досягнення позитивних змін в динаміці електротравматизму потребує удосконалення нормативної бази з питань електробезпеки, дотримання вимог безпеки при розробці електроустановок, їх спорудженні та експлуатації, підвищення рівня навчання електротехнічного персоналу, всього населення щодо розуміння небезпеки ураження електричним струмом, безпечного поводження при виконанні робіт в електроустановках та при користуванні ними.

Мета вивчення дисципліни – надати майбутнім фахівцям теоретичні знання та практичні навички, які необхідні для прийняття рішень, спрямованих на захист працюючих від небезпечних чинників виробничого середовища пов'язаних з використанням електроенергії.

Електробезпека є складовою частиною охорони праці і тісно пов'язана з рядом інших дисциплін: безпекою життєдіяльності, управлінням виробництвом, науковою організацією праці, ергономікою тощо. При вивченні стану виробничого середовища та розробці заходів, спрямованих на покращення безпеки праці при використанні електроенергії, необхідні знання основ таких фундаментальних дисциплін, як математика, фізика, а також знання технічних наук з тих галузей, де спеціалізуються майбутні фахівці.

Перелік умінь, які фахівець з вищою освітою повинен набути в результаті засвоєння інформації, викладеної в посібнику.

Фахівець повинен уміти створювати безпечні умов праці на своєму робочому місці та на робочих місцях підлеглих йому працівників, у тому числі:

- виявляти небезпечні виробничі чинники та оцінювати можливі наслідки їх впливу на працюючих;

- визначати за нормативно-правовими актами відповідність стану виробничих приміщень, обладнання та параметрів технологічних процесів вимогам безпеки за окремими чинниками;
- визначати категорію приміщень за небезпекою враження електричним струмом;
- розробляти заходи, спрямовані на створення безпечних умов праці на робочих місцях;
- вибирати та користуватися засобами колективного й індивідуального захисту працюючих;
- надавати долікарську допомогу потерпілому при нещасних випадках.

1. Основні поняття та стан електробезпеки в Україні

Згідно з чинними нормативно-правовими актами *електробезпека* є системою організаційних та технічних заходів і засобів, що спрямовані на захист людей від шкідливої та небезпечної дії електричного струму, електричної дуги, електричного поля та статичної електрики.

Травми, спричинені дією на організм людини електричного струму і (або) електричної дуги, називають *електротравмами*. Електротравми можуть виникати як при проходженні так і без проходження струму через тіло людини, наприклад, внаслідок опіків або засліплення електричною дугою. Явище, що характеризується сукупністю електротравм, прийнято називати *електротравматизмом*.

За статистичними даними частка електротравм у загальному виробничому травматизмі в середньому складає близько 1%, а в смертельному доходить до 20%, що більше, ніж внаслідок дії інших причин. Слід відзначити, що до 80% смертельних уражень електричним струмом відбувається в електроустановках напругою до 1000 В. Це обумовлено значною поширеністю низьковольтних електроустановок і тим, що до них мають доступ практично всі працюючі, в той

час як електроустановки напругою понад 1000 В обслуговуються виключно висококваліфікованим персоналом.

У виробничих умовах за абсолютними значеннями електротравматизм в Україні у середньому щорічно складає близько 500 випадків, у тому числі зі смертельними наслідками – близько 150 випадків на рік. Широке використання електроенергії у всіх галузях господарства зумовлює розширення чисельності осіб, пов'язаних з експлуатацією електрообладнання. Тому проблема електробезпеки при експлуатації електрообладнання набуває особливого значення.

У порівнянні з іншими видами електротравматизму характерні такі особливості:

- людина не в змозі дистанційно, без спеціальних приладів, визначати наявність напруги, а тому дія струму, зазвичай, є раптовою і захисна реакція організму проявляється тільки після попадання під напругу;
- струм, що протікає через тіло людини, діє на тканини і органи не тільки в місцях контакту зі струмовідними частинами і на шляху протікання, а і рефлекторно, як надзвичайно сильний подразник, впливає на весь організм, що може призвести до порушення функціонування життєво важливих систем організму - нервової, дихання, серцево-судинної тощо;
- електротравми можливі без дотику людини до струмовідних частин - внаслідок утворення електричної дуги при пробі повітряного проміжку між струмовідними частинами або між струмовідними частинами і людиною чи землею.

2. Дія електричного струму на людину

Дія електричного струму на живу тканину має різнобічний і своєрідний характер. Проходячи через організм людини, електрострум проявляє термічну, електролітичну і біологічну дію.

Термічна дія струму полягає в нагріванні біологічних тканин, випаровуванні вологи, що призводить до опіків окремих ділянок тіла та розриву біо-

логічних тканин парою. Нагрівання до високої температури органів, розташованих на шляху струму, може спричинити значні функціональні розлади.

Електролітична дія струму виражається в розкладанні органічної рідини, у тому числі крові, і порушенні її фізико-хімічного складу.

Біологічна дія струму полягає у подразненні і збуренні живих тканин організму та порушенні внутрішніх біологічних процесів, що може проявлятися у вигляді мимовільного непередбачуваного скорочення м'язів, порушень діяльності життєво важливих органів, у тому числі серця та легенів.

Електричні травми умовно поділяють на місцеві, загальні і змішані.

До місцевих травм відносять електричні опіки, електричні знаки, металізацію шкіри, механічні ушкодження, електроофтальмію.

Найбільш розповсюдженими електротравмами є електричні опіки (рис.1). Вони, залежно від умов виникнення, поділяються на контактні, дугові та змішані. Контактні опіки зазвичай трапляються в установках порівняно невеликої напруги і спричинюються тепловою дією струму. Вони охоплюють прилеглі до місця контакту ділянки шкіри та тканин. Дугові опіки можуть виникати в результаті появи дуги як при випадкових коротких замиканнях в електроустановках між її струмовідними елементами, так і між струмовідними елементами електроустановки і тілом людини при небезпечному наближенні її до цих елементів. Дугові опіки зазвичай значно тяжчі, ніж контактні, і часто призводять до смерті потерпілого.



Рис. 1. Електричні опіки

Електричні знаки – різко окреслені плями сірого чи блідо-жовтого кольору, які з'являються на поверхні тіла людини в місці контакту із струмовідними елементами. Особливого болювого відчуття електричні знаки не спричиняють і з часом безслідно зникають.

Металізація шкіри пов'язана з проникненням на відкритих ділянках тіла у шкіру дрібних частинок металу найчастіше при його розплавлюванні під впливом електричної дуги. Особливо небезпечна металізація для органів зору.

Механічні ушкодження спричиняються неконтрольованим судорожним скороченням м'язів у результаті подразнюючої дії струму. Проявляються у виді розривів сухожиль, шкіри, кровоносних судин, нервових тканин, вивихів суглобів, переломів кісток тощо.

Електроофтальмія – запалення зовнішніх оболонок очей, спричинене дією ультрафіолетового випромінювання електричної дуги (рис.2).. Запалення виникає через кілька годин після опромінення і проявляється у формі почервоління шкіри та слизових оболонок повік, слъозотечі, гнійних виділень, світлобоязні. Тривалість захворювання 3 - 5 днів.



Рис. 2. Електроофтальмія

До загальних електричних травм відносять електричний удар, при якому процес порушення різних груп м'язів може призвести до судорог, зупинки дихання і серцевої діяльності.

Електричні удари, залежно від наслідків, поділяються на чотири групи:

I - судорожне скорочення м'язів без втрати свідомості;

II- судорожне скорочення м'язів з втратою свідомості без порушень дихання і кровообігу;

III - втрата свідомості з порушенням серцевої діяльності чи дихання, або серцевої діяльності і дихання разом;

IV - клінічна смерть, тобто відсутність дихання і кровообігу.

Клінічна смерть – це перехідний стан від життя до смерті. Ознаки клінічної смерті – відсутність пульсу і дихання, шкіряний покрив синюватоблідий, зіниці очей різко розширені і не реагують на світло. Період клінічної смерті визначається проміжком часу від зупинки кровообігу і дихання до виникнення незворотних змін у корі головного мозку. В середньому він триває до 7 хв. Якщо в стані клінічної смерті потерпілому своєчасно надати кваліфіковану допомогу (штучне дихання і закритий масаж серця), то дихання і кровообіг можуть відновитися.

Відсутність кровообігу може бути пов'язана і зупинкою серця або його фібриляцією – хаотичним скороченням окремих волокон серцевого м'яза (фібрил). При фібриляції циркуляція крові припиняється, з часом настає виснаження м'яза і серце зупиняється у виснаженому та розслабленому стані. У таких випадках закритий масаж серця не призводить до відновлення його роботи, але дозволяє продовжити період клінічної смерті до прибуття медичної допомоги.

Різновидом загальних електротравм є електричний шок (тяжка нервово-рефлекторна реакція організму на подразнення електричним струмом) при якому виникають глибокі розлади нервової системи і, як наслідок, розлади систем дихання, кровообігу, обміну речовин, функціонування організму в цілому, а життєві функції організму поступово затухають. Такий стан організму може тривати від десятків хвилин до доби і закінчитись або одужанням при активному лікуванні, або смертю потерпілого.

3. Фактори, що впливають на наслідки ураження електричним струмом

Наслідки враження електричним струмом залежать від величини і шляху струму, що протікає через тіло людини, роду, частоти і тривалості його дії, індивідуальних особливостей та стану людини, а також стану виробничого середовища.

Величина струму, що протікає через тіло людини, безпосередньо і найбільшою мірою впливає на тяжкість ураження. Відчуття і наслідки, які виникають у людини під дією певної величини струму, залежать від його роду. Характер впливу на людину постійного та змінного струму частотою 50 Гц наведений у табл. 1.

Характер впливу струму на людину (шлях струму рука-нога)

Величина струму, мА	Змінний струм частотою 50 Гц	Постійний струм
0,6–1,5	Початок відчуття, легке тремтіння пальців	Відчуття немає
2,0–2,5	Початок больових відчуттів	Відчуття немає
5,0–7,0	Початок судорог у руках	Сверблячка, відчуття нагріву
8,0–10,0	Судороги в руках, важко, але можна відірватися від електродів	Посилення відчуття нагріву
20,0–25,0	Сильні судороги і болі, утримуючий струм, утруднення дихання	Судороги рук, утруднення дихання
50,0–80,0	Параліч дихання	Судороги рук, утруднення дихання
90,0–100,0	Зупинка серця при дії струму протягом 2–3 с, параліч дихання	Параліч дихання при тривалому протіканні струму
300,0	Те ж саме, за менший час	Зупинка серця через 2–3 с, параліч дихання

Зважаючи на наведений характер дії, виділяють такі порогові значення струму:

1. Поріг відчуття – найменше відчутне значення струму (1 мА для змінного струму частотою 50 Гц і 5 мА для постійного струму);

2. Утримуючий струм – найменше значення струму, при якому людина не може самостійно звільнитися від захоплених електродів дією тих м'язів, через які протікає струм (10 мА для змінного струму частотою 50 Гц і 50 мА для постійного струму);

Смертельний струм (100 мА і більше).

З наведених даних видно, що змінний струм частотою 50–60 Гц більш небезпечний, ніж постійний, оскільки ті самі явища викликаються більшим значенням постійного струму, ніж змінного. Однак навіть невеликий постійний струм (нижче порога відчуття) при швидкому розриві електричного кола дає дуже різкі удари, які іноді спричиняють судороги м'язів рук.

Дослідним шляхом встановлено, що найбільш небезпечний змінний струм частотою 50–60 Гц. На рис. 3 наведені отримані дослідним шляхом криві, що характеризують залежність утримуючого струму від частоти. Як видно, небезпека дії струму знижується зі збільшенням частоти, але струм частотою до 500 Гц практично такий же небезпечний, як і струм частотою 50 Гц.

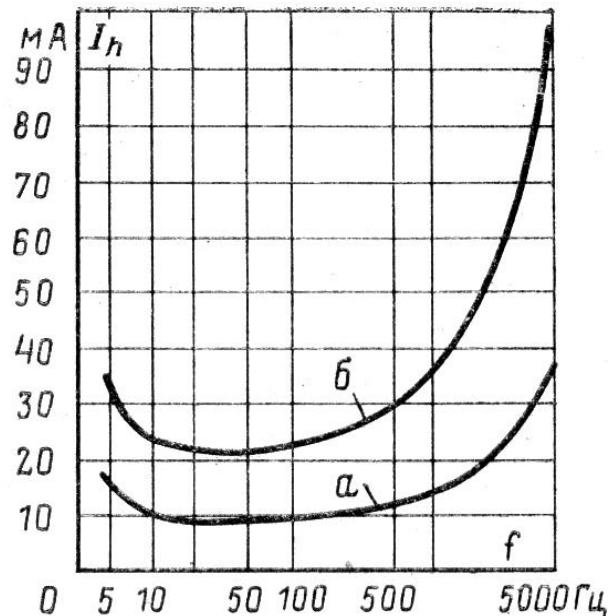


Рис. 3. Криві залежності утримуючого струму від частоти:

а – для 1,5% випробуваних; *б* – для 100% випробуваних

Випрямлений струм містить постійну і змінну складові, які спільно діють на організм людини в той час, як вимірювальні прилади показують тільки постійну складову. Тому в деяких випадках випрямлені граничні значення струму за постійною складовою можуть бути навіть у 1,2–1,5 рази нижче, ніж для змінного струму.

Струм, що протікає через тіло людини, залежить від напруги і сумарного електричного опору на шляху струму, до якого входить опір тіла людини.

Опір тіла людини – величина нелінійна, яка залежить від багатьох факторів. Електрична схема заміщення тіла людини зображена на рис. 4

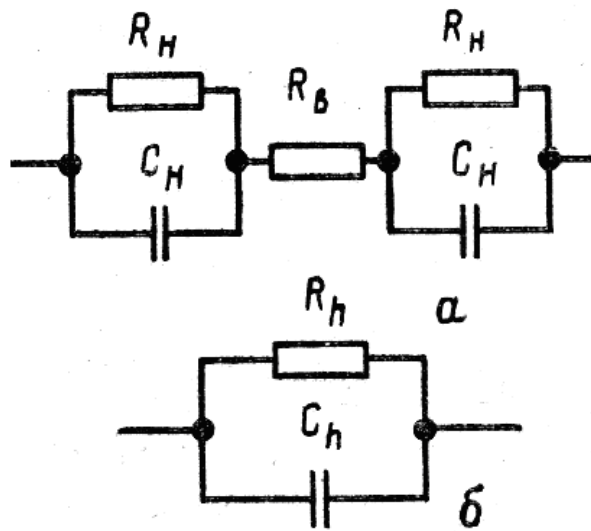


Рис. 4. Повна (а) та спрощена (б) електричні схеми заміщення опору тіла людини:

З цієї схеми випливає, що опір тіла людини має ємнісну складову. Часто цією ємністю при розрахунках нехтують і приймають опір тіла людини чисто активним ($Z_h = R_h$). Основним опором у ланцюзі струму через тіло людини є опір верхнього рогового шару шкіри, товщина якого складає 0,05–0,2 мм. При знятому роговому шарі шкіри опір внутрішніх тканин не перевищує 1 кОм, а при сухій неушкодженій шкірі опір може досягати 10–100 кОм.

Опір тіла людини змінюється в широких межах і залежить від стану шкіри (суха, волога, чиста, ушкоджена тощо), щільності контакту, площі контакту, величини прикладеної напруги, частоти струму, тривалості впливу струму на людину. На рис. 5 наведена залежність опору тіла людини від прикладеної напруги.

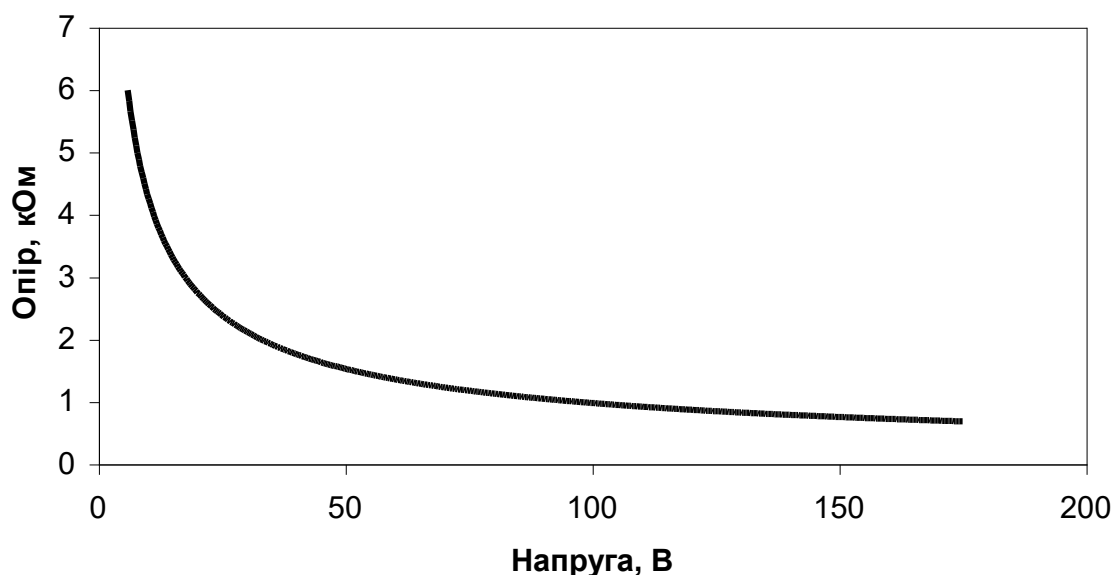


Рис..5. Крива залежності опору тіла людини від напруги

Опір тіла людини залежить від її статі і віку: у жінок він менший, ніж у чоловіків, у дітей менший, ніж у дорослих, у молодих людей менший, ніж у літніх. Це пояснюється різною товщиною і ступенем огрублення верхнього шару шкіри.

При оцінці небезпеки ураження людини електричним струмом опір тіла людини прийнято вважати стабільним, лінійним, активним і рівним 1 кОм.

Небезпека для організму людини тим менша, чим менша *тривалість впливу струму*. Так, при утримуючому значенні струму швидке вимикання від дії струму рятує постраждалого, який не в змозі звільнитися сам. Імовірність настання фібриляції, а також зупинки серця залежить від тривалості дії струму. При тривалому впливі струму опір тіла людини падає і струм зростає до значення, здатного викликати зупинку дихання або навіть фібриляцію серця.

Зупинка дихання виникає не миттєво, а через кілька секунд, причому, чим більший струм проходить через тіло людини, тим менше цей час. Своєчасне звільнення потерпілого дозволяє запобігти паралічу дихальних м'язів.

Зважаючи на складний характер впливу струму на людину, встановлені гранично допустимі величини струму через тіло людини та напруги в нормаль-

ному та аварійному режимі роботи обладнання, значення яких залежить від тривалості дії та роду струму.

Індивідуальні особливості людей у значній мірі визначають результат ураження. Струм, який викликає лише слабкі відчуття в однієї людини, може бути утримуючим для іншої. Характер впливу певного значення струму залежить від стану нервової системи і всього організму людини в цілому, а також від її маси і фізичного розвитку.

З рис. 3 видно, що тільки для 1,5% людей утримуюче значення струму становить 10 мА, в інших людей це явище виникає при суттєво більших значеннях струму. Відзначено, що для жінок граничні значення струму приблизно в 1,5 раза нижче, ніж для чоловіків. Це пояснюється більш слабким фізичним розвитком жінок. У конкретної людини граничні значення струму міняються залежно від стану організму, стомлення тощо.

Суттєво впливає на тяжкість ураження також *шлях струму* через тіло людини. Найбільш небезпечне проходження струму через дихальні м'язи і серце. Так, відзначено, що по шляху «рука – рука» через серце проходить 3,3% загального струму; «ліва рука – ноги» – 3,7%; «права рука – ноги» – 6,7%; «нога – нога» – 0,4%. Випадки з тяжкими і смертельними наслідками найбільш характерні для шляху струму «рука-рука» (40%), «права рука-ноги» (20%), «ліва рука-ноги» (17%). Особливо небезпечними є шляхи струму «голова-руки» і «голова-ноги», але трапляються вони досить рідко.

Серед чинників, що характеризують *стан виробничого середовища* і найбільш суттєво впливають на небезпеку ураження людини електричним струмом, є температура повітря в приміщенні, вологість та запиленість повітря, наявність у повітрі хімічно активних домішок тощо.

За високої температури повітря посилюється потовиділення, розкриваються пори шкіри, зволожується одяг, взуття, що призводить до зменшення опору тіла людини, одягу та взуття і збільшення величини струму, що протікає через тіло людини. Аналогічно впливає на опір і вологість повітря.

Підвищена вологість повітря, струмовідний пил та хімічно активні домішки знижують опір ізоляції електроустановки, сприяють переходу напруги на не струмовідні частини установки, коротким замиканням тощо і, таким чином, підвищують небезпеку електротравм.

Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) за чинниками виробничого середовища виділяють такі типи приміщень:

- гарячі, температура в яких продовж доби перевищує 35°C;
- сухі, відносна вологість в яких не перевищує 60%;
- вологі, відносна вологість в яких не перевищує 75%;
- сирі, відносна вологість в яких більше 75%, але менше вологості насичення;
- особливо сирі, відносна вологість в яких близька до насичення, спостерігається конденсація пари на будівельних конструкціях, обладнанні тощо;
- запилені, в яких пил проникає в електричні апарати та інші споживачі електроенергії і осідає на струмовідні частини, при цьому такі приміщення поділяються на приміщення із струмовідним і неструмовідним пилом;
- приміщення з хімічно агресивним середовищем, яке призводить до порушення ізоляції, або біологічним середовищем, що у вигляді плісняви утворюється на електрообладнанні.

4. Класифікація електроустановок та приміщень за небезпекою ураження електричним струмом

Електроустановками називають сукупність машин, апаратів, обладнання, призначених для виробництва, перетворення, передачі, розподілу електричної енергії та перетворення її в інші види енергії.

За умовами електробезпеки згідно з ПУЕ електроустановки поділяються на:

- електроустановки з напругою до 1 кВ;
- електроустановки з напругою вище 1 кВ.

Приміщення, в яких розміщені електроустановки, за небезпекою ураження електричним струмом поділяються на приміщення:

- без підвищеної небезпеки;
- з підвищеною небезпекою;
- особливо небезпечні.

Приміщення з підвищеною небезпекою характеризуються наявністю в них одного із чинників, що обумовлюють підвищену небезпеку, а саме:

- високої температури повітря, що постійно чи періодично (більше доби) перевищує 35°C;
- високої відносної вологості повітря (тривалий час перевищує 75%);
- струмовідного пилу;
- струмовідних підлог (металеві, земляні, залізобетонні, цегельні тощо);
- можливості одночасного дотику людини до з'єднаних з землею металоконструкцій і до металевих корпусів електроустаткування.

Особливо небезпечні приміщення характеризуються наявністю одного із чинників, що створюють особливу небезпеку, а саме:

- особливої вологості (відносна вологість повітря близька до 100%, стеля, стіни, долівка та предмети, які знаходяться в приміщенні, покриті вологою);
- хімічно активного чи органічного середовища, що порушує ізоляцію та струмовідні частини обладнання;
- одночасної наявності в приміщенні двох або більшого числа чинників підвищеної небезпеки.

Території розміщення зовнішніх електроустановок за небезпекою ураження людей електричним струмом прирівнюються до особливо небезпечних приміщень.

5. Причини електротравм та умови ураження людини електричним струмом

Чинна класифікація причин електротравматизму не відрізняється від загальноприйнятої класифікації причин нещасних випадків, розглянутої в першому розділі підручника. Найбільш поширеними серед груп причин електротравматизму є організаційні та технічні.

Серед *технічних причин* слід виділити такі, як недосконалість конструкції електроустановки і засобів захисту, допущені недоліки при виготовленні, монтажу і ремонті електроустановки, невідповідність будови електроустановок і захисних засобів умовам їх застосування тощо.

Організаційні причини електротравматизму в першу чергу пов'язані з недостатньою кваліфікацією працівників, порушеннями правил безпеки, відсутністю нагляду та контролю за виконанням робіт в електроустановках, несвоєчасним опосвідчення технічного стану електроустановок, відсутністю чи невідповідністю вимогам безпеки засобів захисту, експлуатацією несправних електроустановок тощо.

Серед безпосередніх причин попадання людей під напругу слід виділити такі:

- поява напруги на корпусі електроустановки або на електрично зв'язаних з ним металоконструкціях (далі – корпусі) у результаті пошкодження ізоляції;
- поява напруги на ізольованих струмовідних частинах електроустановок у результаті пошкодження ізоляції;
- доступність неізольованих струмовідних частин електроустановок, які знаходяться під напругою, що призводить до випадкового дотику до них;
- потрапляння в зону розтікання струму в землі;
- виникнення електричної дуги між струмовідними частинами і тілом людини.

Струм через тіло людини проходить, якщо вона торкається одночасно двох точок, між якими існує напруга, і при цьому виникає замкнене коло. Вели-

чина цього струму залежить від схеми включення, тобто від того, яких частин електроустановки торкається людина, а також від параметрів електричної мережі. Серед різноманітних схем включення людини в електричне коло слід виділити такі:

- одночасний дотик до двох полюсів мережі постійного струму або до фази та нуля однофазної мережі чи двох фаз трифазної мережі змінного струму;
- дотик до одного з полюсів чи однієї з фаз мережі змінного струму, при якому коло струму замикається через людину та землю;
- дотик до корпусу електроустановки, який у результаті пошкодження ізоляції знаходиться під напругою, за умови, що коло струму замикається через людину та землю;
- одночасний дотик до двох точок на поверхні землі, які в результаті замикань на землю знаходяться під напругою.

Практично при всіх схемах (крім першої) складовим елементом кола струму через тіло людини є земля. Тому при аналізі небезпеки враження струмом у різних електричних мережах необхідно зрозуміти сутність явищ, які виникають при замиканні мережі на землю та розтіканні струму в землі.

6. Розтікання струму при замиканні на землю

Замиканням на землю називається випадкове електричне з'єднання частин електроустановки, що знаходяться під напругою, з землею.

Замикання на землю може відбутися внаслідок появи контакту між струмовідними частинами і заземленим корпусом, при падінні на землю обірваного проводу, при порушенні ізоляції устаткування тощо. У всіх цих випадках струм від частин, що знаходяться під напругою, проходить у землю через елементи обладнання, що мають контакт з ґрунтом, або спеціальний металевий електрод, який прийнято називати заземлювачем.

Розміри та форма елементів обладнання та електродів можуть бути різними. Різні можуть бути і електричні властивості ґрунту, особливо за наявності в місті замикання кількох шарів ґрунту з різними питомими опорами. Тому з метою спрощення картини електричного поля аналіз розтікання струму виконаємо для випадку, коли струм стікає в землю через одиночний заземлювач напівсферичної форми, занурений в однорідний і ізотропний ґрунт із питомим опором ρ , який є значно більшим за питомий опір матеріалу заземлювача (рис. 7).

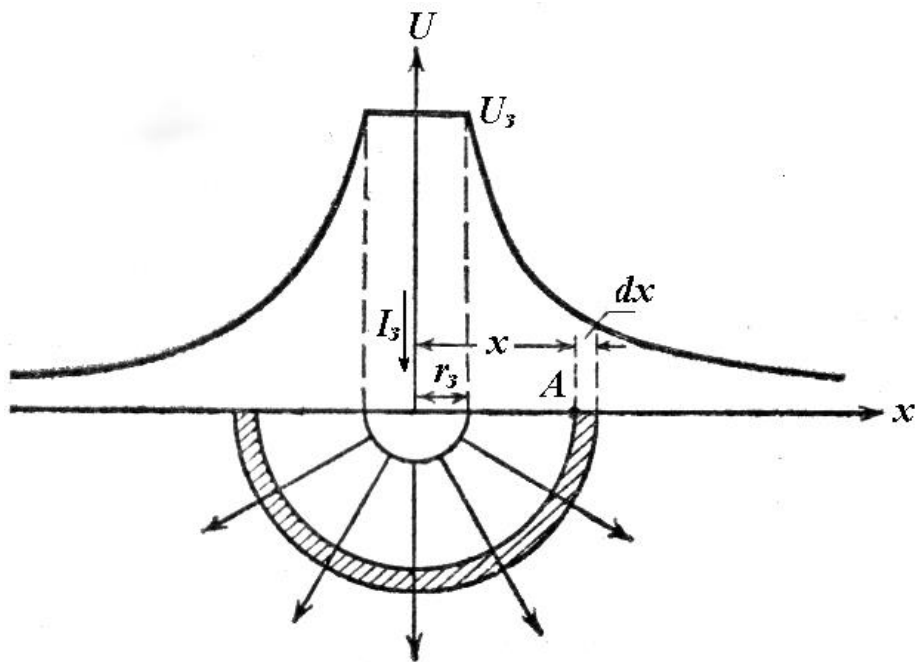


Рис. 7. Розтікання струму в ґрунті через напівсферичний заземлювач

Якщо поряд із заземлювачем немає інших електродів, то лінії струму поблизу досліджуваного заземлювача спрямовані за радіусом від центра півсфери. При цьому лінії струму перпендикулярні як до поверхні самого заземлювача, так і до будь-якої півсфери в ґрунті, концентричної з ним.

Оскільки ґрунт однорідний і ізотропний, струм розподіляється по цій поверхні рівномірно. Тому густина струму δ в точці A на поверхні ґрунту на відстані x від заземлювача визначається як відношення струму замикання на землю до площі поверхні півкулі радіусом x :

$$\delta = \frac{I_3}{2\pi x^2}. \quad (1)$$

Для визначення потенціалу точки, що лежить на поверхні радіусом x , виділимо елементарний шар товщиною dx . Падіння напруги в цьому шарі запишемо у вигляді

$$dU = E dx. \quad (2)$$

Потенціал точки A чи напруга між цією точкою і нескінченно віддаленою точкою землі з нульовим потенціалом визначається так:

$$\varphi_A = U_A = \int_x^{\infty} E dx. \quad (3)$$

Напруженість електричного поля в точці A визначається за законом Ома, вираженого в диференціальній формі:

$$E = \delta \rho.$$

Підставивши у (3) відповідні значення густини струму з виразу (1), а також значення E , запишемо

$$\varphi_A = U_A = \int_x^{\infty} \frac{I_3 \rho}{2\pi x^2} dx.$$

Розв'язок цього інтеграла має такий вигляд:

$$\varphi_A = U_A = \frac{I_3 \rho}{2\pi x}. \quad (4)$$

Якщо врахувати, що потенціал на поверхні електрода (при $x = r_3$)

$$\varphi_3 = U_3 = \frac{I_3 \rho}{2\pi r_3}, \quad (5)$$

то вираз (4) приймає вигляд

$$\varphi_A = \varphi_3 \frac{r_3}{x}. \quad (6)$$

Останній вираз є рівнянням гіперболи. Таким чином, потенціал на поверхні землі в зоні стікання струму із заземлювача A змінюється за гіперболічним законом (рис. 7). Якщо точка A знаходиться на значній відстані від електрода, тобто $x \rightarrow \infty$, то потенціал її дорівнює нулю.

Оскільки питомий опір металу значно менший, ніж ґрунту, то падіння напруги на заземлювачі є малим і корпус електроустановки, приєднаний до цього заземлювача, буде мати той же потенціал, якщо знехтувати опором з'єднуючих проводів.

Напругою корпуса електроустановки щодо землі називають напругу між корпусом і точками ґрунту, потенціал яких може бути прийнятий за нуль.

У ланцюзі замикання на землю найбільший потенціал має заземлювач. Точки, що лежать на поверхні ґрунту, мають тим менший потенціал, чим далі вони знаходяться від заземлювача. Область поверхні ґрунту, потенціал якої дорівнює нулю, називається електротехнічною землею (практично при $x=20$ м).

Область ґрунту, що лежить поблизу заземлювача, де потенціали не дорівнюють нулю, називають полем розтікання (струму).

Опір заземлювача розтіканню струму (опір розтіканню) може бути визначений як сумарний опір ґрунту від заземлювача до будь-якої точки з нульовим потенціалом. Для напівсферичного заземлювача з виразу (5) маємо

$$R_3 = \frac{\rho}{2\pi r_3}. \quad (7)$$

Вираз (7) справедливий тільки для напівсферичного заземлювача. Опір розтіканню для заземлювачів інших форм визначається за формулами, наведеними у таблицях довідкової літератури.

Напруга дотику. Для людини, що стоїть на ґрунті в точці A й торкається заземленого корпуса, напруга дотику може бути визначена як різниця потенціалів точок, яких одночасно торкається людина (рук і ніг), тобто

$$U_d = \varphi_p - \varphi_n. \quad (8)$$

Потенціал руки є потенціалом на корпусі (5), тоді з урахуванням величини потенціалу в точці A (4) маємо

$$U_d = \frac{I_3 \rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{x} \right)$$

або

$$U_{\partial} = \frac{I_3}{2\pi r_3} \frac{x - r_3}{x}. \quad (9)$$

У виразі (9) перший множник згідно з формулою (5) являє собою напругу корпусу щодо землі U_3 , другий множник позначимо як

$$\alpha = \frac{x - r_3}{x}.$$

Підставивши ці значення у вираз (9), одержимо напругу дотику в полі розтікання заземлювача будь-якої конфігурації:

$$U_{\partial} = U_3 \alpha. \quad (10)$$

Величина α називається коефіцієнтом напруги дотику. Для напівсферичного заземлювача цей коефіцієнт визначається за формулою, наведеною вище. Вирази для визначення коефіцієнта α для заземлювачів іншої форми наведені в довідковій літературі.

На рис. 8 зображена схема приєднання корпусів кількох споживачів до заземлювача R . Потенціали на поверхні ґрунту при замиканні на корпус будь-якого споживача розподіляються за кривою I.

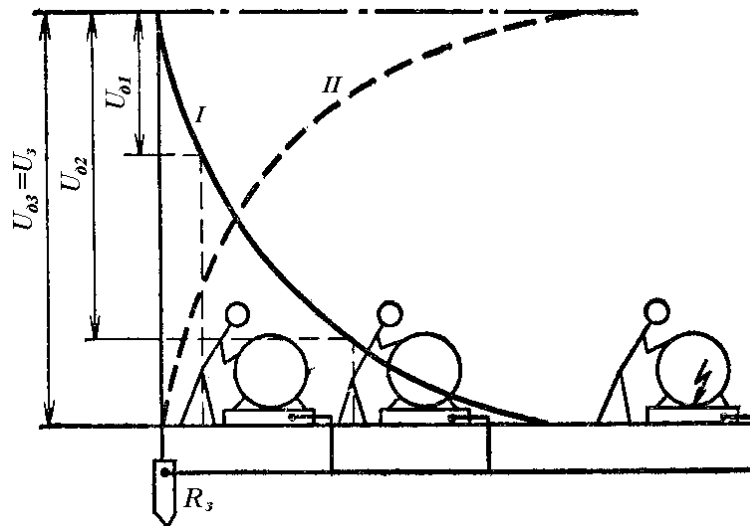


Рис. 8. Криві напруги дотику до заземлених неструмовідних частин під напругою:

I – крива розподілу потенціалів; II – крива розподілу напруги дотику

Потенціали всіх корпусів однакові, тому що корпуси електрично зв'язані між собою заземлюючим проводом, падінням напруги в якому можна знехтувати. Як видно з рисунка мінімальна напруга дотику буде у випадку, коли облад-

нання знаходиться безпосередньо біля заземлювача. По мірі віддалення від заземлювача ця напруга зростає і при значній відстані ($x=20$ м) практично дорівнює напрузі на заземлювачі.

Таким чином коефіцієнт α залежить від відстані між точкою, на якій стоїть людина, і заземлювачем. Якщо людина знаходиться над заземлювачем ($x=r_3$), то $\alpha=0$, якщо людина знаходиться поза полем розтікання ($x > 20$ м), то $\alpha=1$.

Людина, що знаходиться в полі розтікання, може потрапити під напругу кроку, якщо її ноги будуть у точках з різними потенціалами. *Напруга кроку* – це напруга між двома точками на поверхні землі, які знаходяться одна від одної на відстані кроку і на яких одночасно стоїть людина.

На рис. 9 показаний розподіл потенціалів у полі розтікання одиночного заземлювача. Напруга кроку визначається як різниця потенціалів між точками A і B :

$$U_{\kappa} = \varphi_A - \varphi_B.$$

Потенціал точки A при напівсферичному заземлювачі знаходимо з виразу (4), а потенціал точки B

$$\varphi_B = \frac{I_3 \rho}{2\pi(x+a)}.$$

Звідси напруга кроку

$$U_{\kappa} = \frac{I_3 \rho}{2\pi} \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{x+a} \right)$$

або

$$U_{\kappa} = U_3 \left(\frac{ar_3}{x^2 + ax} \right). \quad (11)$$

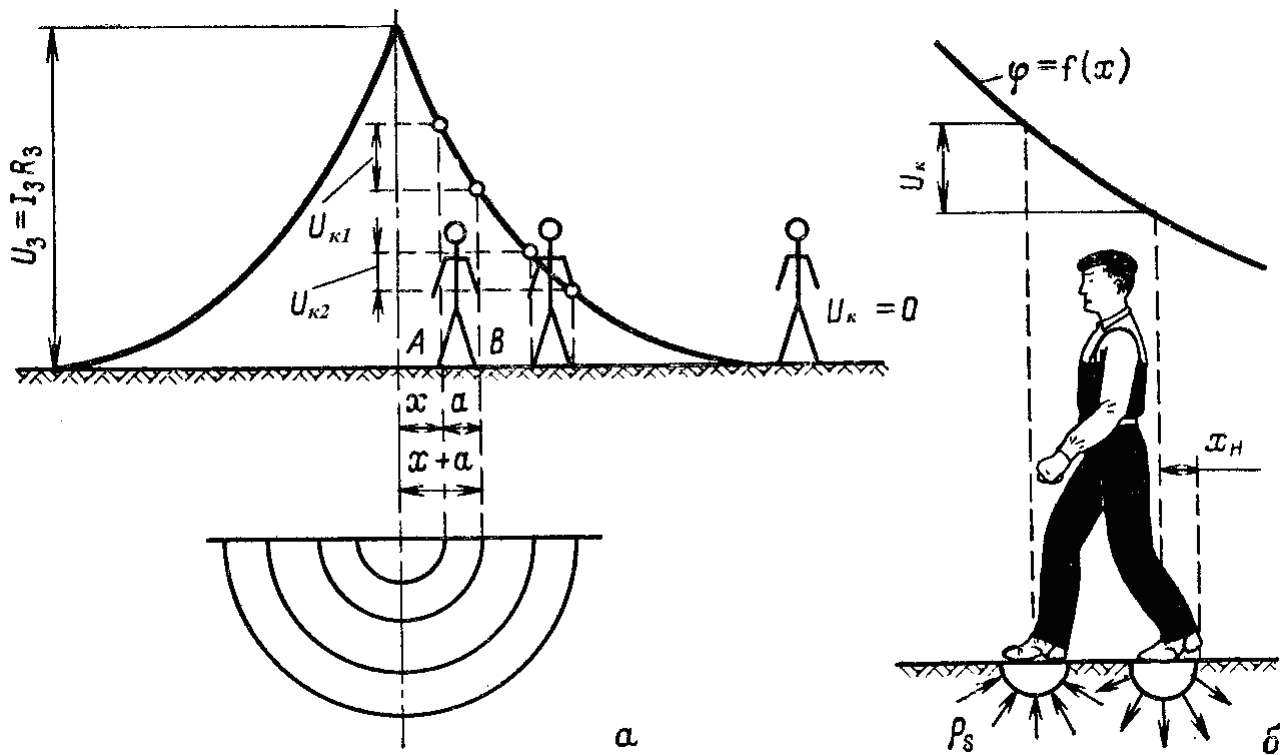


Рис. 9. Розподіл потенціалів у полі розтікання струму одиночного заземлювача:
 а – загальна схема; б – розтікання струму з опорної поверхні ніг людини

Множник у дужках позначимо як

$$\beta = \frac{ar_3}{x^2 + ax}. \quad (12)$$

Тоді вираз (11) набуває вигляду

$$U_k = U_3 \beta,$$

де β – коефіцієнт напруги кроку, що враховує форму потенціальної кривої.

Для напівсферичного заземлювача коефіцієнт β визначається за виразом (12), а для заземлювачів іншої форми наводиться у відповідних таблицях.

Коефіцієнт напруги кроку, що враховує форму потенціальної кривої, β залежить від форми і конфігурації заземлювача і положення відносно заземлювача точки, в якій він визначається. Чим ближче до заземлювача, тим більше коефіцієнт β . Якщо людина знаходиться безпосередньо біля заземлювача, коефі-

цієнт β приймає максимальне значення. Людина, що знаходиться поза полем розтікання струму, взагалі не попадає під напругу кроку, так як $\beta = 0$.

Напруга кроку також може дорівнювати нулю, якщо обидві ноги людини знаходяться на еквіпотенціальній лінії.

7. Аналіз небезпеки ураження струмом у різних електричних мережах

Небезпека ураження електричним струмом у першу чергу визначається величиною струму, що протікає через тіло людини при попаданні під напругу. Величина цього струму залежить від ряду факторів: схеми включення людини в коло струму, напруги електричної мережі, схеми мережі, режимів полюсу чи нейтралі, якості ізоляції та ємності струмовідних частин відносно землі.

Не звертаючи увагу на параметри мережі, розглянемо різні схеми включення людини в коло струму.

Двополюсний (двофазний) дотик до струмовідних частин. На рис. 10 показаний одночасний дотик до двох полюсів мережі постійного струму або однофазної мережі змінного струму (а) і до двох фаз трифазної мережі (б).

При цьому людина, опір тіла якої R_h , знаходиться під напругою U і через її тіло проходить струм

$$I_h = \frac{U}{R_h}.$$

У трифазній мережі при одночасному дотику до двох фазних провідників струм через тіло людини визначається лінійною напругою U_l , тобто

$$I_h = \frac{U_l}{R_h} = \frac{\sqrt{3}U}{R_h}. \quad (13)$$

Двополюсний дотик до струмовідних частин є дуже небезпечним незалежно від режиму полюсу чи нейтралі мережі. При такому дотику небезпека

ураження струмом не зменшується навіть у тому разі, коли торкається до струмовідних частин людина, яка надійно ізольована від землі.

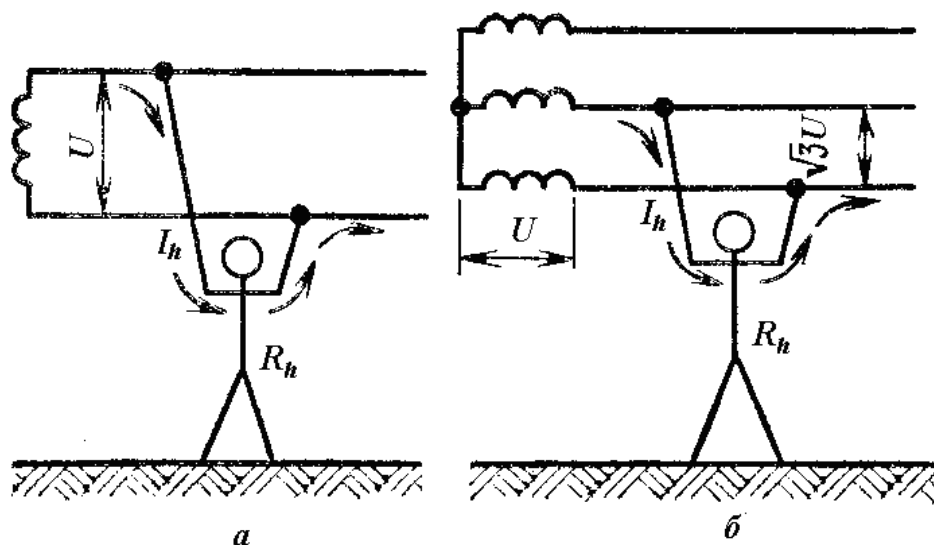


Рис. 10. Схема двополюсного дотику людини до струмовідних частин:

a – у мережі постійного струму чи в однофазній мережі змінного струму; *б* – у трифазній мережі

Однополюсний (однофазний) дотик до струмовідних частин спостерігається значно частіше, ніж двополюсний, але в порівнянні з останнім він є менш небезпечним. У подальшому, зважаючи на те, що найбільш розповсюдженими є трифазні мережі змінного струму, аналіз небезпеки ураження струмом виконаємо відносно саме до цих мереж

Мережі з ізолюованою нейтраллю

Якщо людина, стоячи на землі, торкається однієї з фаз у мережі з ізолюованою нейтраллю (рис. 11), коло струму замикається через землю і далі через опори ізоляції і ємності фаз.

За нормального режиму роботи симетричної мережі, тобто за умови, що $r_{L1} = r_{L2} = r_{L3} = r$ $C_{L1} = C_{L2} = C_{L3} = C$, струм через тіло людини визначається як

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h \sqrt{1 + \frac{r(r + 6R_h)}{9R_h^2(1 + r^2\omega^2C^2)}}}. \quad (14)$$

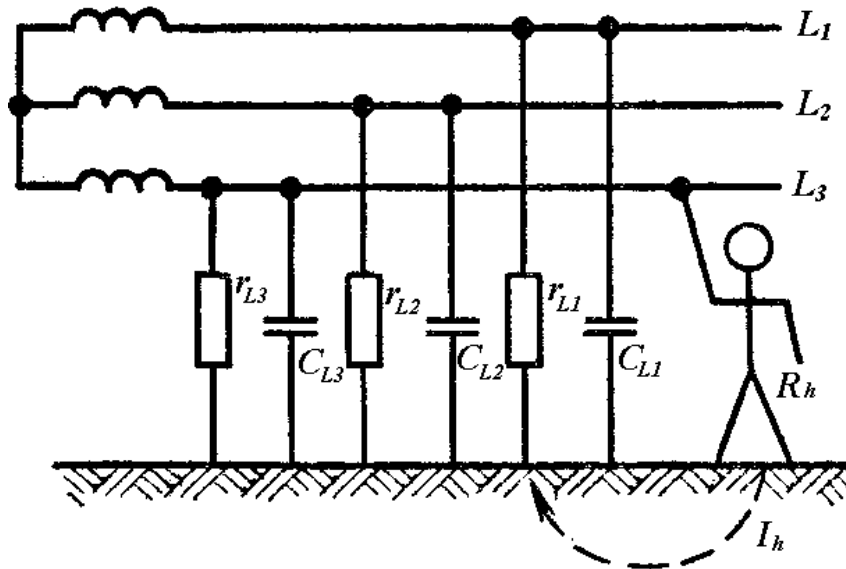


Рис. 11. Схема однофазного дотику людини у мережі з ізолюваною нейтраллю

У повітряних лініях незначної протяжності ємність провідників відносно землі мала і можна вважати $C \approx 0$. Тоді рівняння (14) приймає вигляд

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + r/3}. \quad (15)$$

У кабельних мережах, де провідність ізоляції незначна ($r \approx \infty$), а ємність провідників відносно землі суттєва, величина струму

$$I_h = \frac{U_\phi}{\sqrt{R_h^2 + (x_c/3)^2}}, \quad (16)$$

де $x_c = 1/\omega C$ - ємнісний опір однієї фази відносно землі, Ом.

Із виразу (15) видно, що в мережах з ізолюваною нейтраллю при незначній ємності провідників відносно землі небезпека для людини, яка торкнулася до фазного провідника за нормальної роботи мережі, залежить від опору ізоляції провідників відносно землі. Оскільки величина опору тіла людини прийма-

ється 1 кОм, а відповідно до чинних нормативів у мережах до 1000 В опір ізоляції становить 100 кОм і більше, то в такій мережі величина струму через тіло людини практично не залежить від опору тіла людини і визначається опором ізоляції провідників. Із зростанням цього опору небезпека знижується.

У мережах зі значною ємністю провідників відносно землі, ця суттєва перевага мереж, ізольованих від землі, втрачається, що видно з рівняння (16).

За аварійного режиму роботи мережі з ізольованою нейтраллю, тобто коли виникло замкнення однієї з фази на землю через малий опір, величина струму через тіло людини, яка торкається до однієї зі справних фаз,

$$I_h = \sqrt{3}U_\phi / (R_h + r_{зм}),$$

де $r_{зм}$ – опір замкнення фази на землю, Ом.

На практиці часто буває, що $r_{зм} \ll R_h$. У такому випадку величина струму через тіло людини визначається як при одночасному дотику до двох фазних провідників, тобто

$$I_h = \sqrt{3}U_\phi / R_h. \quad (17)$$

Таким чином, цей випадок торкання є дуже небезпечним, тому вкрай важливо в мережах, ізольованих від землі, не допускати аварійних ситуацій, забезпечувати високий опір ізоляції та контролювати її стан з метою своєчасного виявлення та усунення виникаючих несправностей.

Мережі із заземленою нейтраллю

На рис. 12 наведено схему однофазного дотику людини у трифазній чотирипровідній мережі з глухозаземленою нейтраллю.

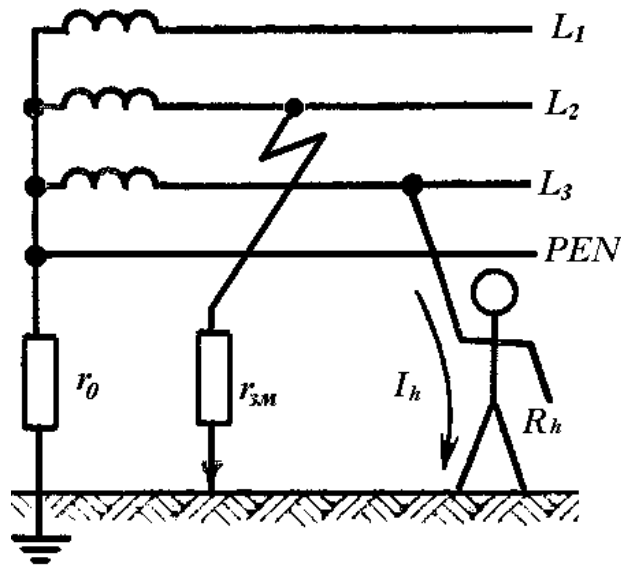


Рис. 12. Схема однофазного дотику людини у мережі із заземленою нейтраллю

За нормального режиму роботи мережі струм, що протікає через тіло людини, визначається як

$$I_h = U_\phi / (R_h + r_0),$$

де r_0 – опір заземлення нейтралі, Ом.

Оскільки $r_0 \ll R_h$, то у цьому випадку величина струму через тіло людини практично визначається фазною напругою і опором людини, тобто

$$I_h = U_\phi / R_h. \quad (18)$$

Звідси видно, що дотик до фази мережі із заземленою нейтраллю за нормального режиму її роботи значно небезпечний, ніж дотик до фази мережі з ізолюваною нейтраллю.

За аварійного режиму роботи мережі із заземленою нейтраллю, тобто коли виникло замкнення однієї з фаз на землю через малий опір, величина струму через тіло людини, яка торкається однієї зі справних фаз, буде залежати від співвідношення опорів заземлення нейтралі і замкнення фази на землю. У випадку, коли $r_0 \ll r_{зм}$, величина струму через тіло людини буде визначатися за виразом (18), а якщо прийняти $r_{зм} = 0$, то людина фактично потрапляє під дію лінійної напруги і величина струму буде визначатися за виразом (17). У реалі

льних умовах такі граничні випадки не виникають і величина струму буде знаходитися в діапазоні

$$U_{\phi} / R_h < I_h < \sqrt{3} U_{\phi} / R_h. \quad (19)$$

Звідси видно, що в аварійному режимі роботи мережа із заземленою нейтраллю є менш небезпечною, ніж мережа з ізольованою нейтраллю.

Слід також відзначити, що за аварійного режиму мережі з ізольованою нейтраллю струм через місце замкнення фази на землю залежить від опору ізоляції фаз. Його величина, як правило, мала і тому така мережа в аварійному режимі є працездатною, що суттєво підвищує безпеку ураження електричним струмом.

У мережі із заземленою нейтраллю за аварійного режиму через місце замкнення фази на землю протікає значний струм

$$I_h = U_{\phi} / (r_{zm} + r_0),$$

який на практиці досягає десятків ампер. За такої величини струму в місці замкнення фази виділяється значна потужність, що може призвести до вигорання ізоляції та пожежі. Тому така мережа в аварійному режимі є непрацездатною.

8. Система засобів та заходів з безпечної експлуатації електроустановок

При розробці системи засобів та заходів з безпечної експлуатації електроустановок у першу чергу враховується:

- особливості виробничого середовища;
- доступність електрообладнання;
- величина напруги мережі живлення, В;
- величина струму замкнення на землю, А;
- конструктивні особливості мережі живлення – кількість фаз і режим нейтралі;
- величина опору і стан ізоляції провідників відносно землі;

- протяжність і розгалуженість мережі живлення.

Усі засоби і заходи електробезпеки прийнято поділяти на три групи: технічні, організаційні та електрозахисні.

Технічних засоби і заходи з електробезпеки реалізуються в конструкції електроустановок при їх розробці, виготовленні і монтажі відповідно до чинних нормативів. За своїми функціями технічні засоби і заходи електробезпеки поділяються на дві групи:

- технічні заходи та засоби електробезпеки, що використовуються за нормального режиму роботи електроустановок;
- технічні заходи та засоби електробезпеки, що використовуються за аварійних режимів роботи електроустановок.

До основних технічних засобів і заходів першої групи відносяться:

- захист від випадкового доторкання до струмовідних частин;
- блокувальні пристрої;
- засоби орієнтації та сигналізації;
- захисне розділення електричних мереж;
- застосування малої напруги;
- компенсація ємнісних струмів замикання на землю;
- вирівнювання потенціалів.

Залежно від призначення, умов експлуатації та конструкції в електроустановках можуть застосовуватись одночасно декілька з перелічених технічних засобів і заходів.

Технічні заходи електробезпеки, що використовуються за аварійних режимів роботи електроустановок включають:

- захисне заземлення;
- занулення;
- захисне вимикання.

Електрозахисні засоби – це технічні вироби, що не є конструктивними елементами електроустановок і застосовуються під час виконання робіт в електроустановках з метою запобігання електротравм.

Організаційні заходи і засоби щодо попередження електротравм регламентуються НПАОП 0.00-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів». Вони включають професійний відбір, професійну підготовку, навчання і перевірку знань працівників з питань електробезпеки, організацію безпечного виконання та нагляду за роботами в електроустановках, обмеження доступу в електроустановки, огляд, профілактичні, протиаварійні, приймально-здавальні випробування електроустановок, опосвідчення діючих електроустановок тощо.

9. Засоби та заходи електробезпеки, що використовуються за нормального режиму роботи електроустановок

Основним заходом, спрямованим на *захист від випадкового доторкання* до струмовідних частин в електроустановках до 1000 В, є ізоляція струмовідних частин. Вона забезпечує технічну працездатність електроустановок, зменшує вірогідність потрапляння людини під напругу, замикань на землю і на корпус електроустановок, зменшує струм через тіло людини при торканні неізованих струмовідних частин в електроустановках, що живляться від ізованої від землі мережі.

Згідно з ГОСТ 12.1.009-76 ізоляція буває:

- робоча – забезпечує нормальну роботу електроустановок і захист від ураження електричним струмом;
- додаткова – забезпечує захист від ураження електричним струмом на випадок пошкодження робочої ізоляції;
- подвійна – складається з робочої і додаткової;
- підсилена – поліпшена робоча ізоляція, яка забезпечує такий рівень захисту, як і подвійна.

З метою забезпечення працездатності електроустановок і безпечної їх експлуатації проводиться контроль стану ізоляції, який характеризується електричною міцністю ізоляції, її електричним опором і діелектричними втратами. В установках напругою більше 1000 В проводять усі види випробувань ізоляції, а при напрузі до 1000 В контролюють електричний опір і електричну міцність. Виділяють прийнятно-здавальні випробування, післяремонтні (реконструкція і капітальний ремонт) і міжремонтні.

Електричну міцність ізоляції визначають шляхом випробування підвищеною напругою. Опір ізоляції електроустановок нелінійно залежить від прикладеної напруги. Тому контроль опору ізоляції проводять за робочої напруги або за допомогою спеціальних приладів – мегомметрів.

Вимоги до величини випробувальної напруги, величини опору ізоляції електроустановок та періодичності контролю регламентовано ПУЕ, НПА ОП 0.00 - 1.12- 98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» та іншими чинними нормативно-правовими актами.

В електроустановках напругою більше 1000 В електротравми можливі і при дотику до ізольованих струмовідних частин. Захист від випадкового дотику в цих електроустановках здійснюється за рахунок забезпечення недоступності струмовідних частин. Основними заходами забезпечення недоступності струмовідних частин є розміщення неізольованих струмовідних частин на недоступній висоті та в недоступному місці, застосування захисних огорож, закритих комутаційних апаратів (пакетних вимикачів, комплектних пускових пристроїв, дистанційних електромагнітних приладів для керування споживачами електроенергії тощо), обмеження доступу сторонніх осіб в електротехнічні приміщення тощо.

Призначення *блокувальних пристроїв* – унеможливити доступ до неізольованих струмовідних частин без попереднього зняття з них напруги та попередити помилкові дії персоналу при експлуатації електроустановок, не допустити порушення рівня електробезпеки та вибухозахисту електрообладнання

без попереднього вимикання його від джерела живлення. Основними видами блокувальних пристроїв є механічні, електричні і електромагнітні.

Механічні блокувальні пристрої – це такі конструкції (стопори, замки, пружинно-стрижньові і гвинтові конструкції тощо), які не дозволяють знімати захисні огорожі електроустановок, відкривати комутаційні апарати без знеструмлення. Електричні блокувальні пристрої забезпечують розрив мережі живлення чи кола керування пускового апарата спеціальними контактами, змонтованими на дверях огорож, розподільних щитів і шаф, кришках і дверцях кожухів електрообладнання. Електромагнітні блокувальні пристрої використовуються з метою забезпечення необхідної послідовності вмикання і вимикання обладнання. Вони виготовляються, переважно, у вигляді стрижньових електромагнітів. У знеструмленому стані стрижень електромагніту під дією пружини заходить у гніздо корпусу органа керування електроустановки, що не дозволяє маніпулювати цим органом. При подачі напруги на обмотку електромагніта, осердя втягується в котушку, що забезпечує розблокування органа керування електроустановкою і можливість необхідних маніпулювань цим органом.

Засоби орієнтації та сигналізації дають можливість персоналу чітко орієнтуватися в електроустановках, запобігають помилковим діям та надають інформацію відносно перебування електрообладнання під напругою, стану ізоляції та пристроїв захисту, а також про небезпечні відхилення режимів роботи від номінальних. До засобів орієнтації в електроустановках відносять маркування частин електрообладнання, забарвлення неізольованих струмовідних частин, попереджувальні сигнали, написи, таблички, комутаційні схеми, знаки високої електричної напруги, знаки попереджувальні тощо. В електроустановках напругою понад 1000 В світловою сигналізацією обладнують комірочки роз'єднувачів, масляних вимикачів, трансформаторів.

З метою збільшення опору ізоляції проводів електричної мережі відносно землі і зменшення ємнісної складової струму виконують *захисне розділення електричних мереж*. Розділення протяжних мереж на окремі, елек-

трично незв'язані між собою частини, здійснюють за допомогою трансформаторів з коефіцієнтом трансформації, що дорівнює одиниці. Такі заходи можуть здійснюватись як у мережах, ізольованих від землі, так і при переході від мережі з глухозаземленою нейтраллю до мережі, ізольованої від землі.

При реалізації захисного розділення електричних мереж розділяючий трансформатор як засіб захисту повинен мати високу надійність конструкції і якісну ізоляцію. Корпус трансформатора заземлюється чи занулюється залежно від режиму нейтралі мережі живлення трансформатора, а заземлення вторинної обмотки трансформатора не допускається.

Малу напругу використовують у приміщеннях з підвищеною небезпечкою електротравм та особливо небезпечних для живлення ручного електрифікованого інструмента, ручних переносних ламп, світильників місцевого освітлення з лампами розжарювання, в яких конструктивно не виключена можливість контакту сторонніх осіб із струмовідними частинами, світильників загального освітлення з лампами розжарювання при висоті підвісу світильників, меншій 2,5 м.

Чинні нормативно-правові акти виділяють два діапазони малої напруги змінного струму: 12 і 42 В.

Напруга 12 В змінного струму повинна застосовуватися для живлення переносних світильників в особливо небезпечних умовах щодо електротравм за умови виконання робіт у металевих, бетонних чи залізобетонних ємностях, кабельних та інших енергетичних підземних комунікаціях, оглядових ямах, вентиляційних камерах тощо. В інших випадках використовують малу напругу до 42 В змінного і до 110 В постійного струму.

Як джерело малої напруги використовують гальванічні елементи, акумулятори та знижувальні трансформатори. При використанні останніх необхідно обов'язково передбачати заходи щодо запобігання переходу напруги мережі на сторону малої напруги. Приклад включення знижувальних трансформаторів наведено на рис. 13.

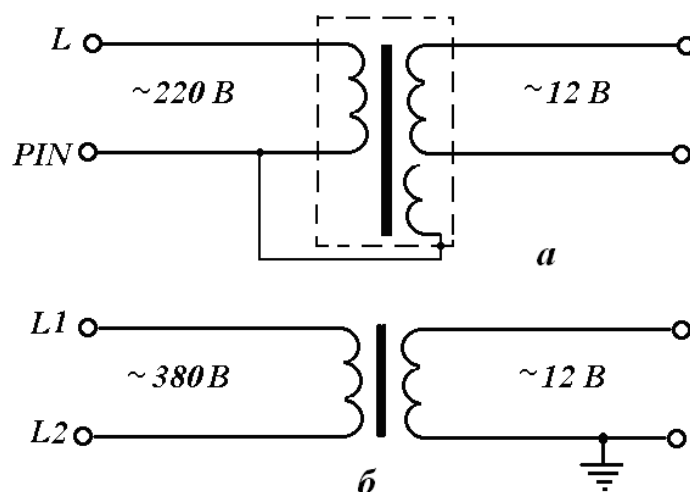


Рис. 13. Схема джерел малої напруги:

а – із зануленим екраном; *б* – із заземленням обмотки малої напруги

Для приєднання споживачів малої напруги використовують спеціальні розетки, які конструктивно відрізняються від розеток на більші діапазони напруги.

Забороняється використовувати як джерело малої напруги автотрансформатори, а також резистори та ємності, які обмежують величину струму в колі живлення споживачів малої напруги.

У мережах, ізольованих від землі, зі значною ємністю провідників (кабельні лінії електропередачі, протяжні розгалужені високовольтні мережі) струм однофазних замикань на землю, як і струм, що проходить через тіло людини при однофазному дотику до струмовідних частин, в основному визначається ємнісним опором ізоляції провідників (16). Для зменшення цього струму застосовують *компенсацію ємнісної складової струму замикання на землю*. Для цього між нейтраллю мережі і землею вмикають компенсаційні котушки (реактори), індуктивність яких може змінюватись (рис. 14). За умови, що індуктивний опір мережі відносно землі дорівнює ємнісному, ємнісний струм компенсується індуктивним і в мережі виникає резонанс струмів. У такому випадку струм однофазних замикань на землю, а також струм, що проходить через тіло людини при однофазному дотику до струмовідних частин, в основному залежить від активної складової опору ізоляції і є суттєво меншим у порівнянні з некомпенсованою мережею.

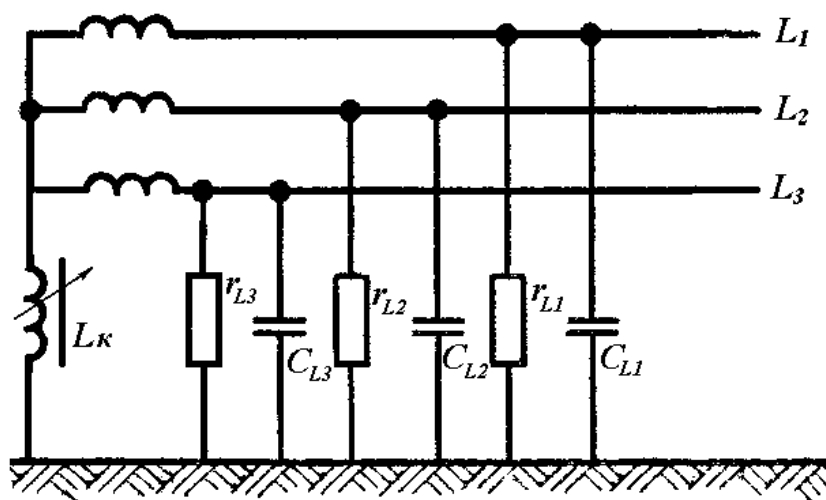


Рис.14. Схема компенсації ємнісної складової струму замикання на землю

З метою зниження величини напруги дотику та напруги кроку, в електроустановках здійснюють *вирівнювання потенціалів*. Це досягається за рахунок навмисного підвищення потенціалу опорної поверхні, на якій може стояти людина, до рівня потенціалу струмовідних частин, яких вона може торкатися, або за рахунок зменшення перепаду потенціалів на поверхні землі чи підлозі приміщень у зоні можливого розтікання струму.

Наприклад, при виконанні робіт без зняття напруги на високовольтних повітряних лініях електропередач, з метою зниження U_0 виконують тимчасове електричне з'єднання ізольованої від землі колиски телескопічної вежі з фазним проводом. За таких умов потенціали поверхні, на якій стоїть людина, і струмовідних частин будуть однаковими і $U_0 = 0$.

10. Захисне заземлення

Поява напруги на неструмовідних частинах електроустановок пов'язана із пошкодженням ізоляції і замиканням на корпус. Одним із основних технічних заходів щодо попередження електротравм за таких умов є захисне заземлення. Захисне заземлення – це навмисне електричне з'єднання із землею чи її еквівалентом металевих неструмовідних частин, які можуть опинитися під напругою.

Метою захисного заземлення є зниження до малого значення напруги відносно землі на металевих неструмовідних частинах обладнання, які внаслідок пошкодження ізоляції опинилися під напругою. Захисне заземлення застосовується в електроустановках, що живляться від ізольованої від землі мережі напругою до 1000 В, і в електроустановках напругою більше 1000 В незалежно від режиму нейтралі мережі живлення.

Принцип дії захисного заземлення можна пояснити спираючись на рис. 1. За відсутності заземлення (рис. 15, а) дотик людини до корпусу обладнання при пошкодженні ізоляції рівноцінний дотику до фазного провідника мережі. Струм, що протікає через тіло людини, у цьому випадку залежить від напруги в мережі, сумарного опору ізоляції та людини. За умови $R_h \ll r$ він може бути визначений з рівняння (15) як $I_3 = I_h \approx 3U_\phi / r$. У такому випадку напруга на корпусі відносно землі буде визначатися так:

$$U_\kappa^a = 3U_\phi \frac{R_h}{r}. \quad (20)$$

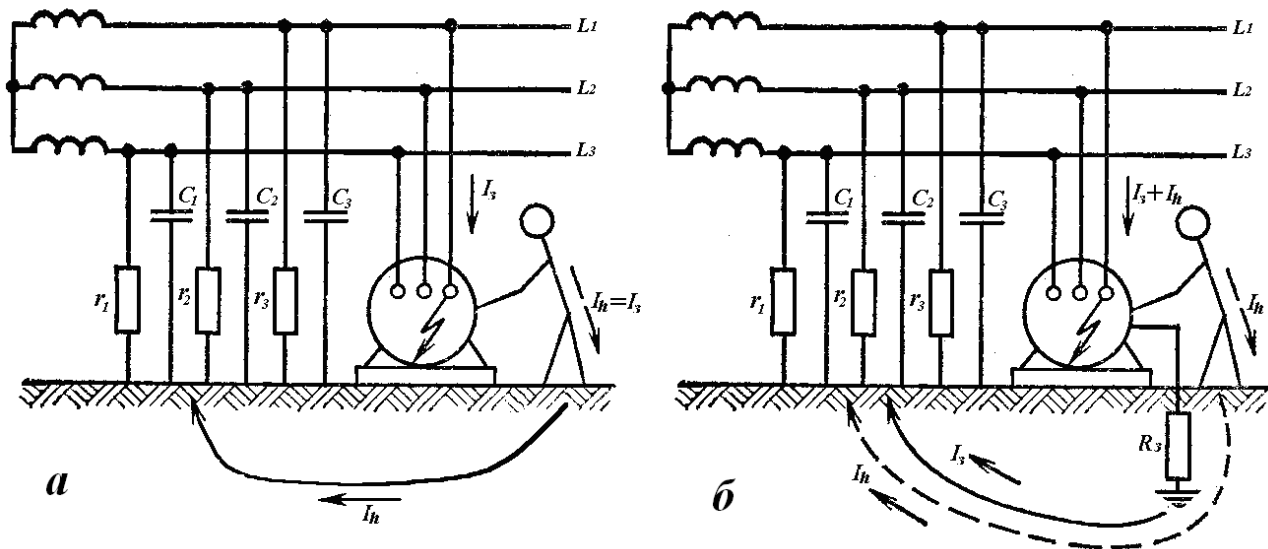


Рис. 15. Схема дотику людини до корпусу обладнання при пошкодженні ізоляції:
а – за відсутності заземлення; б – за наявності захисного заземлення

За наявності захисного заземлення (рис. 15, б) у коло замикання на землю паралельно опору людини вмикається малий опір R_3 . При дотриманні

співвідношення $R_3 \ll R_h$, струм у колі замикання фактично залежить від напруги в мережі та опору ізоляції і може бути визначений з рівняння (15) як $I_3 \approx 3U_\phi / r$, а напруга на корпусі відносно землі тоді буде:

$$U_\kappa^\phi = 3U_\phi \frac{R_3}{r}. \quad (21)$$

Зіставимо вирази (20) і (21)

$$\frac{U_\kappa^\phi}{U_\kappa^a} = \frac{R_3}{R_h}, \quad (22)$$

Оскільки опір заземлювача $R_3 \ll R_h$, то видно, що напруга на корпусі при його заземленні суттєво (практично на два порядки) знижується, за рахунок чого досягається безпека експлуатації електроустановок.

Захисному заземленню підлягають металеві неструмовідні частини обладнання, які через несправність ізоляції можуть опинитися під напругою і до яких можливий дотик людей або тварин. При цьому в приміщеннях з підвищеною небезпекою та в особливо небезпечних за умовами ураження струмом, а також у зовнішніх установках заземлення обов'язкове при номінальній напрузі електроустановки понад 42 В змінного і понад 110 В постійного струму, а в приміщеннях без підвищеної небезпеки – при напрузі 380 В та вище змінного струму; 440 В і вище – постійного струму. У вибухонебезпечних приміщеннях заземлення виконується незалежно від значення величини напруги установки.

Величина опору заземлюючого пристрою в установках напругою 380/220 В не повинна перевищувати 4 Ом.

При потужності джерела живлення (генератора, трансформатора) 100 кВ·А і менше допускається підвищувати величину опору заземлюючого пристрою до 10 Ом.

У високовольтних мережах з ефективно заземленою нейтраллю опір заземлюючого пристрою не повинен перевищувати 0,5 Ом.

Опір заземлюючого пристрою електроустановок, які приєднані до ізольованої від землі мережі напругою більше 1000 В, визначається залежно від

величини струму замикання на землю I_z за виразом $R_z \leq 250/I_z$, але він не повинен перевищувати 10 Ом. При одночасному використанні заземлюючого пристрою в електроустановках до і більше 1000 В його опір визначається як $R_z \leq 125/I_z$ при одночасному виконанні вимог щодо величини заземлення в мережах напругою до 1000 В. Розрахункова величина однофазного (ємнісного) струму замикання на землю в ізольованій від землі мережі напругою більше 1000 В приблизно може бути визначена за формулою

$$I_z = \frac{\sqrt{3}U_\phi}{350}(35l_k + l_\Pi), \quad (23)$$

де U_ϕ – фазна напруга мережі, кВ; l_k, l_Π – відповідно довжина електрично зв'язаних кабельних і повітряних ліній, км.

Заземлюючий пристрій – це сукупність заземлювача та заземлюючих провідників.

Заземлювач – це сукупність з'єднаних провідників, які перебувають у контакті із землею. Розрізняють заземлювачі штучні, призначені виключно для заземлення, і природні – металеві предмети, які знаходяться в землі.

Заземлюючий провідник – це провідник, який з'єднує об'єкти, що заземлюються, із заземлювачем. Якщо заземлюючий провідник має два або більше відгалужень, то він називається магістраллю заземлення.

Заземлюючі провідники між собою й із заземлювачем з'єднуються зварюванням, а з обладнанням, що заземлюється, – зварюванням або за допомогою гвинтового з'єднання із застосуванням антикорозійних заходів. Вимоги до площі поперечного перерізу цих провідників встановлюються ПУЕ.

Як природні заземлювачі використовуються прокладені в землі трубопроводи, оболонки кабелів, арматура будівельних конструкцій, що має контакт із землею. Штучні заземлювачі – це сукупність з'єднаних між собою спеціально закладених у землю металевих електродів (прутки, стрижні, труби, смугова сталь тощо). Електроди можуть бути розміщені в землі вертикально чи горизонтально. Вони з'єднуються між собою за допомогою зварювання.

Заземлювачі можуть бути виносними або контурними (рис. 16).

У випадку виносного заземлювача (рис. 16, *a*), закладені в ґрунт вертикальні електроди з'єднуються металевою смугою, а в приміщенні відкрито по будівельних конструкціях прокладається внутрішня магістраль заземлення. Заземлювач і магістраль з'єднуються між собою провідниками за допомогою зварювання не менше, ніж у двох місцях.

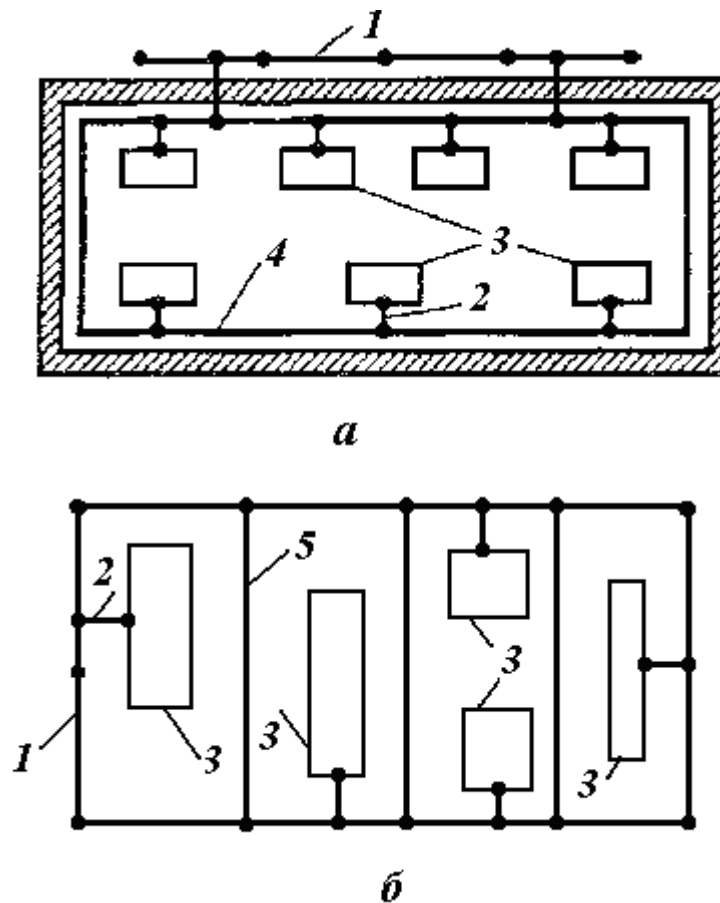


Рис. 16. Виносне (*a*) і контурне заземлення (*б*): 1 – заземлюючий пристрій; 2 – заземлюючі провідники; 3 – обладнання, що заземлюється; 4 – внутрішня магістраль заземлення; 5 – смуги, для вирівнювання потенціалу всередині контуру

У випадку контурного заземлювача (рис. 16, *б*) у ґрунті навколо обладнання, що захищається, на глибині 0,7...1,0 м прокладається горизонтальний електрод 1, безпосередньо до якого заземлюючими провідниками приєднуються корпуси обладнання. За необхідності, для зменшення опору заземлюючого пристрою в кутах контуру та періодично за довжиною горизонтального електрода в ґрунт закладаються вертикальні електроди, а для вирівнювання потен-

ціалу всередині контуру – смуги, які зварюванням приєднуються до нього. Такі контурні заземлювачі найчастіше використовують для захисту у відкритих електроустановках.

ПУЕ передбачає використання залізобетонних фундаментів промислових будівель як природних заземлювачів. Металеві елементи фундаментів при цьому повинні утворювати безперервний електричний ланцюг по металу, а в залізобетонних конструкціях повинні передбачатися закладні деталі для приєднання електричного і технологічного устаткування. Якщо параметри залізобетонних фундаментів задовольняють викладеним вище вимогам, то спорудження штучних заземлювачів у такому випадку непотрібне. Фундамент фактично утворює навколо устаткування контур, який зменшує коефіцієнта напруги дотику і підвищує безпеку експлуатації електроустановок.

На кожний діючий заземлюючий пристрій повинен бути паспорт, в якому наводиться його схема, дані про результати перевірок його стану, проведені ремонтні роботи і конструктивні зміни. При перевірці стану заземлюючого пристрою проводять його огляд і вимірюють опір захисного заземлення струму розтікання. Терміни перевірки встановлюються чинними нормативно-правовими актами. Так, цехові заземлюючі пристрої перевіряються через 12 місяців.

Для визначення стану заземлюючих пристроїв чинні правила пропонують робити визначення його опору після монтажу, переустаткування, капітального ремонту, але не рідше один раз в 12 років.

Вимір опору заземлюючого пристрою виконується приладами М1101, Ф4103, Ф4103-1, Ф4103-1м. Принцип їх дії заснований на методі вольтметра-амперметра.

Сутність цього методу полягає в тому, що за допомогою амперметра вимірюється струм, що проходить через вимірюваний заземлювач R_x , а за допомогою вольтметра – спадання напруги на ньому.

У результаті шуканий опір заземлювача

$$R_x = \frac{U}{I}.$$

Відстань між електродами й заземлювачем повинні бути не менше значених на схемі (рис. 17).

Щоб погрішність виміру не перевищувала 2%, внутрішній опір вольтметра повинен в 50 разів перевищувати сумарний опір заземлювача R_x й потенційного електрода.

Кожний окремий заземлюючий пристрій повинен мати паспорт, що містить схему, основні технічні й розрахункові дані, відомості про зроблені ремонти й внесені зміни.

Для реалізації схеми необхідний трансформатор ТР із вторинною напругою 40-50 В, два допоміжних електрода (П - потенційний і Т - струмовий), звичайно загострені сталеві кутові профілі, довжиною близько 1,5 м, амперметр А і вольтметр V (для зменшення погрішності виміру з великим внутрішнім опором).

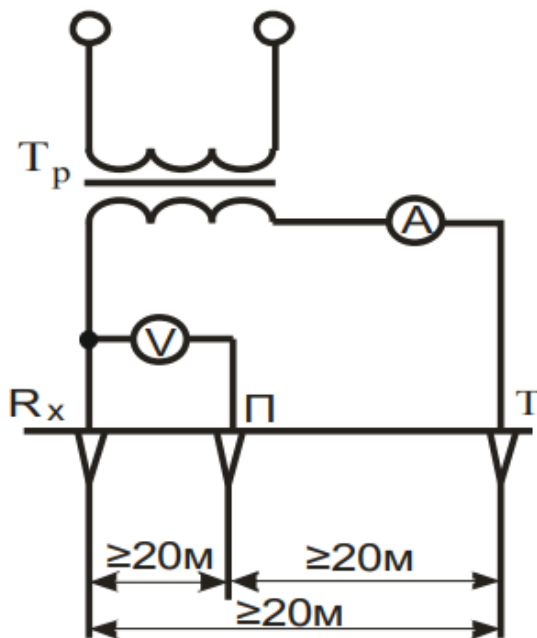
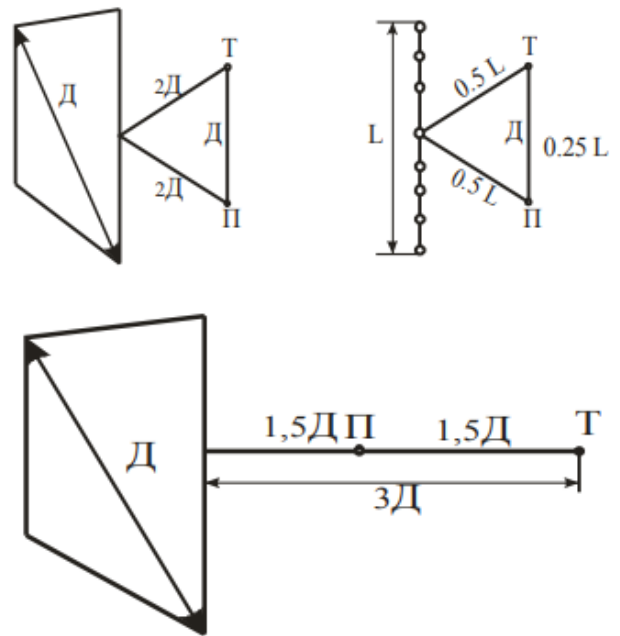


Схема виміру опору заземлюючого пристрою методом вольтметр - амперметр



Рекомендована схема розташування електродів
Д - більша діагональ заземлювача
L - довжина рядового заземлювача.

Рис. 17. Схема вимірювання опору заземлюючого пристрою

11. Занулення

Занулення – це навмисне електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металевих неструмовідних частин, які можуть опинитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції.

Принципова схема занулення при живленні електроустановки від трифазної чотирипровідної мережі з глухозаземленою нейтраллю наведена на рис. 18.

Метою занулення є створення умов для спрацювання засобів автоматичного вимикання електроустановки у випадку, коли внаслідок пошкодження ізоляції її металеві неструмовідні частини опинилися під напругою. Занулення застосовується в мережах трифазного струму з глухозаземленою нейтраллю при напрузі до 1 кВ.

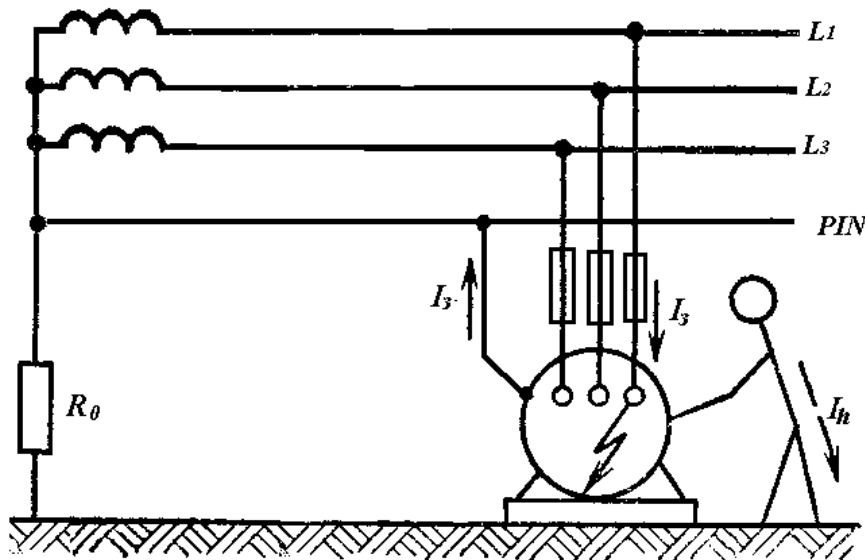


Рис. 18. Принципова схема занулення

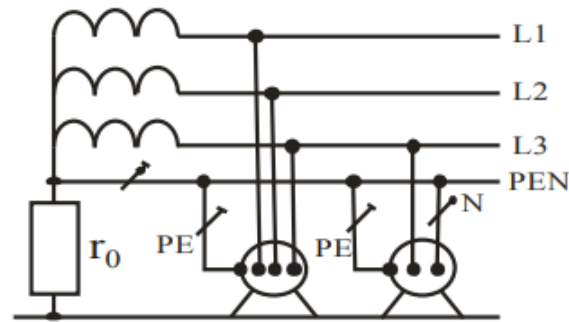
Принцип дії занулення полягає в тому, що воно перетворює замикання на корпус установки в однофазне коротке замикання. Внаслідок цього спрацює захист від коротких замикань (плавкі вставки запобіжників, автоматичні

вимикачі, магнітні пускові пристрої із струмовим захистом тощо) і установка відключається від джерела живлення.

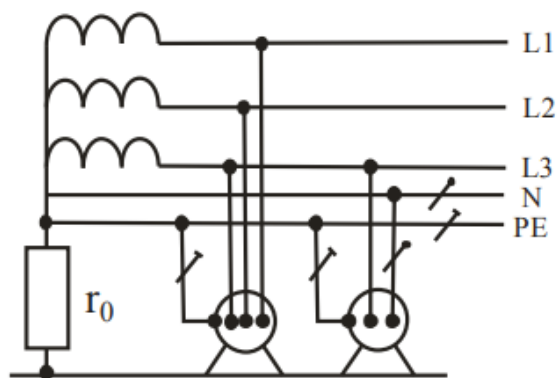
Згідно з ПУЕ в мережах напругою до 1000 В, у яких нейтраль джерела живлення є глухозаземленою, а відкриті струмовідні частини електроустановки приєднані до нейтралі за допомогою нульових захисних провідників (*система TN*) можливі такі варіанти реалізації занулення:

- *система TN–C* – це система TN, у якій нульовий захисний (PE) і нульовий робочий (N) провідники сполучені в одному провіднику на всій її довжині;
- *система TN–S* – це система TN, у якій нульовий захисний і нульовий робочий провідники розділені на всій її довжині;
- *система TN–C–S* – це система TN, у якій функції нульового захисного і нульового робочого провідників сполучені в одному провіднику на якійсь її частині, починаючи від джерела постачання.

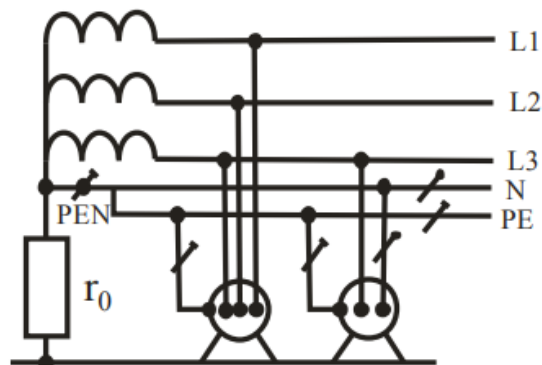
Нині при спорудженні нових житлових будинків, адміністративно-побутових приміщень, приміщень масового перебування людей та схожих на них передбачається використання системи TN–S (рис. 19).



Система TN-C



Система TN-S



Система TN-C-S

Рис.19. Можливі варіанти реалізації занулення

При використанні цієї системи в приміщеннях з однофазними електроустановками внутрішня мережа виконується 3-провідною – фаза, нульовий робочий та нульовий захисний провідники, а розетки для підключення переносних споживачів електроенергії мають 3 контакти. При відповідному виконанні штепсельних вилок і шнура живлення (3-провідний) контакт мережі нульового захисного провідника замикається з випередженням відносно контактів фази і нульового робочого провідника. Таким чином обладнання занулюється до подачі на нього напруги.

У приміщеннях з 3-фазними споживачами за системи TN-S внутрішня мережа виконується 5-провідною – 3 фази, нульовий робочий та нульовий захисний провідники, або 4-провідною – 3 фази та нульовий захисний провідник.

При використанні системи TN–C–S нульовий захисний провідник відгалужується від PEN-провідника на щитку вводу в приміщення до роз'єднуючих контактів, а для забезпечення цілісності нульового захисного провідника і надійності захисту в колі цього провідника не повинно бути запобіжників та будь-яких комутаційних апаратів.

При використанні для електропостачання повітряних ліній можливий обрив PEN-провідника. Тому з метою підвищення безпеки при експлуатації електроустановок цей провідник на кінцях повітряних ліній (відгалужень від них) довжиною більше 200 м, а також на вводах від лінії електропередачі до електроустановок повторно заземляється.

ПУЕ встановлюються вимоги до величини опорів заземлення нейтралі та повторних заземлень, а також до нульових захисних провідників. Так, загальний опір заземлення в мережі з глухозаземленою нейтраллю при напрузі 380/220 В не повинен перевищувати 4 Ом.

Призначення нульового захисного провідника:

- нульовий захисний провідник забезпечує протікання достатнього для швидкого вимикання ушкодженої електроустановки струму однофазного короткого замикання;

- у трифазній мережі із заземленою нейтраллю напругою до 1000 В неможливо забезпечити безпеку при замиканні фази на корпус без нульового захисного провідника;

- у мережі, де застосовується занулення, не можна заземлювати корпус приймача струму, не приєднавши його до нульового захисного провідника.

Призначення заземлювача нейтралі джерела струму:

Заземлювач нейтралі не впливає на здатність схеми занулення на вимикання. Режим нейтралі в цьому випадку не має значення. Однак при замиканні фази на землю (обрив провідника), земля набуває потенціал ушкодженої фази й між зануленим устаткуванням і землею виникає різниця потенціалів, практично рівна фазній напрузі мережі (рис. 20).

Дотик людини до корпусу в цьому випадку практично рівноцінно дотику до струмоведучої частини електроустановки при нормальному режимі роботи.

Мережа із заземленою нейтраллю при такому ушкодженні буде практично безпечна (рис. 21).

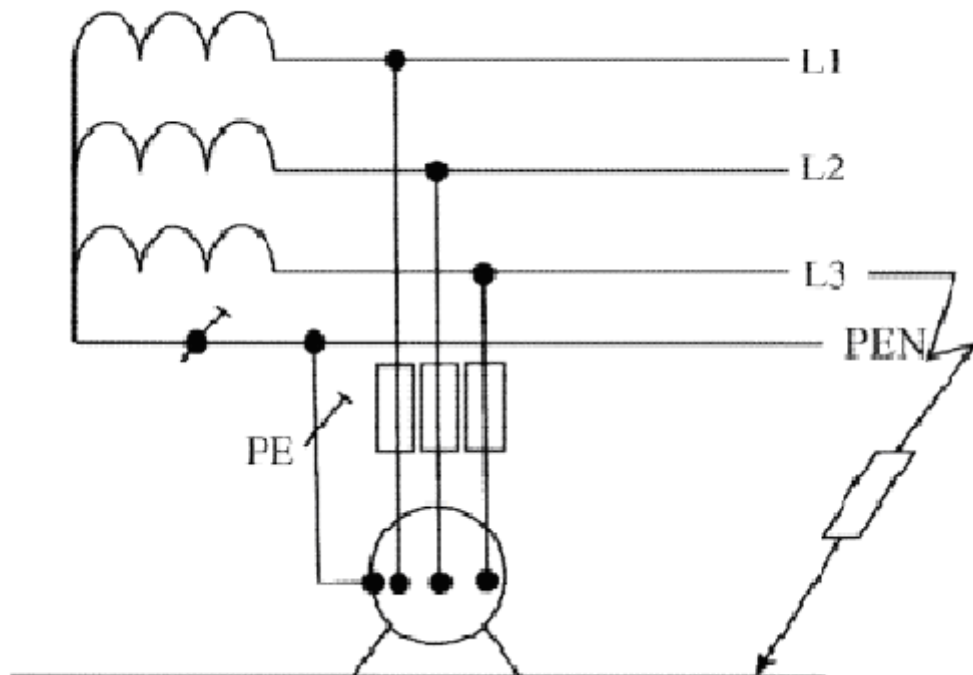


Рис. 20. Схема трифазної чотирьохпровідної мережі з ізольованою нейтраллю (аварійний режим)

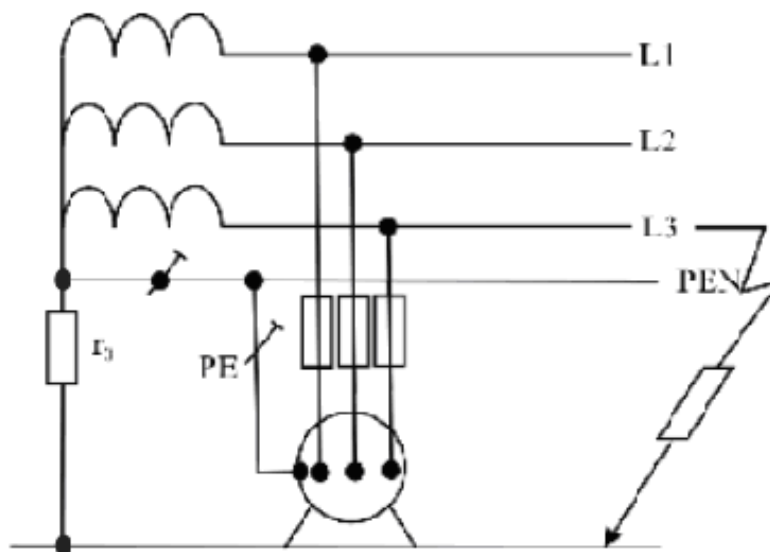


Рис. 21. Схема аварійного режиму чотирьохпровідної мережі із заземленою нейтраллю

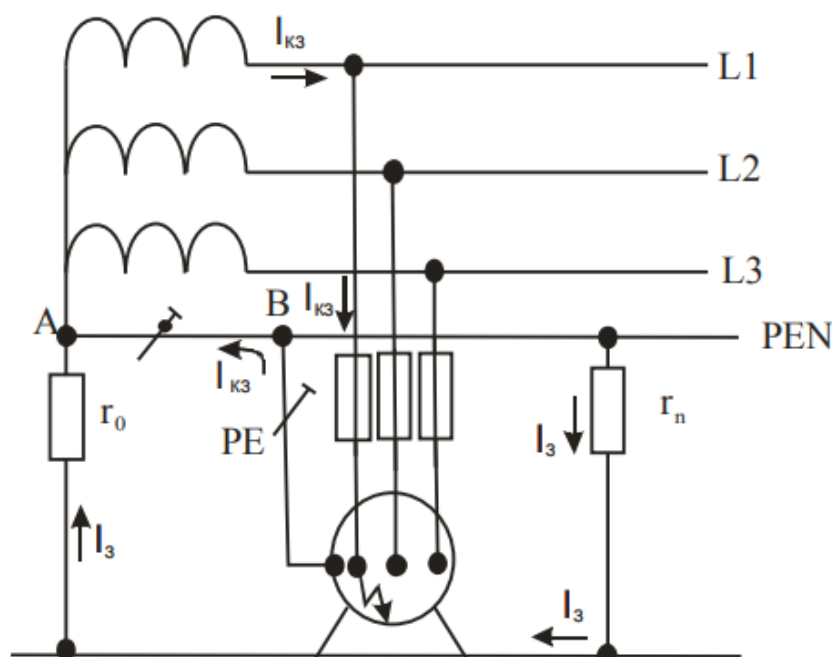
Призначення повторного заземлення нульового захисного провідника:

Повторне заземлення нульового захисного провідника також не впливає на здатність схеми занулення до вимикання при випадковому замиканні фази на корпус. Однак при його відсутності виникає небезпека для людей, що доторкнулися до зануленого устаткування в період, поки існує замикання фази на корпус. Крім того у випадку обриву нульового захисного провідника й замиканні фази на корпус за місцем обриву ця небезпека різко зростає, оскільки напруга на корпусах за місцем обриву буде дорівнює фазній напрузі (рис.22)

При замиканні фази на корпус у мережі, що не має повторного заземлювача нульового захисного провідника, ушкоджений корпус до спрацювання захисту виявиться під напругою рівною втратам напруги в нульовому захисному провіднику.

Повторний заземлювач нульового захисного провідника знижує напругу на занулених корпусах під час замикання фази на корпус.

Повторний заземлювач нульового захисного провідника значно зменшує, але не забезпечує повністю, небезпеку ураження струмом у результаті обриву нульового захисного провідника та при замиканні фази на корпус за місцем обриву.



Сумарний опір заземлювача нейтралі і повторних заземлювачів нульового провідника повинен бути не більше 2,0; 4,0; 8,0 Ом відповідно при лінійних напругах 660; 380 і 220 В. Опір заземлювача нейтралі при наявності повторних заземлювачів і одиночного повторного заземлювача повинен бути не більше 15,0; 30,0; 60,0 Ом відповідно при тих же напругах.

Загальний опір всіх повторних заземлювачів PEN провідника кожної ПЛ повинен бути не більше 5,0; 10,0; 20,0 Ом відповідно при тих же напругах.

12. Автоматичке вимикання живлення

Автоматичке вимикання живлення (захисне вимикання) – це швидкодіючий захист, що забезпечує вимикання електроустановки при виникненні в ній небезпеки ураження електричним струмом. Така небезпека виникає при пошкодженні ізоляції і переході напруги на корпус установки, зниженні опору фаз відносно землі нижче допустимого рівня, появі в мережі підвищеної напруги, дотику людини до струмовідних частин.

Загалом пристрої захисного вимикання складаються з датчиків (струму, різниці струмів, напруги тощо), підсилювачів та автоматичних вимикачів.

Пристрої захисного вимикання застосовуються в доповнення до захисного заземлення (занулення) для забезпечення надійного захисту, перш за все в умовах особливої небезпеки електротравм, або як складові елементи захисту від коротких замикань при зануленні електроустановок (плавкі вставки запобіжників, автоматичні вимикачі, магнітні пускові пристрої із струмовим захистом тощо).

Згідно з чинними нормативно-правовими актами захисне вимикання є обов'язковим у гірничодобувній промисловості і на торфодобуваннях. Напри-

клад, у шахтних електричних мережах використовуються різноманітні прилади контролю ізоляції (ПКІ), які при зниженні опору фаз відносно землі нижче допустимого рівня або дотику людини до струмовідних частин дають команду на вимикання відповідної електроустановки та лінії електропостачання.

Захисне вимикання доцільно застосовувати у випадках, коли складно забезпечити низький опір розтіканню струму заземлюючого пристрою, наприклад, за наявності сухого чи скельного ґрунту. Пристрої захисного вимикання у цьому випадку можуть спрацьовувати при появі на корпусі електроустановки небезпечної для людини напруги дотику, при зниженні опору провідників мережі відносно землі нижче допустимого рівня тощо.

Основні вимоги, яким повинні відповідати ПЗВ

- а) висока чутливість;
- б) малий час відключення (0,05 - 0,20) секунди;
- в) селективність дії;
- г) здатність здійснювати самоконтроль справності;
- д) висока надійність.

Схеми деяких пристроїв захисного вимикання (ПЗВ) наведено на рис. 23 – рис. 26.

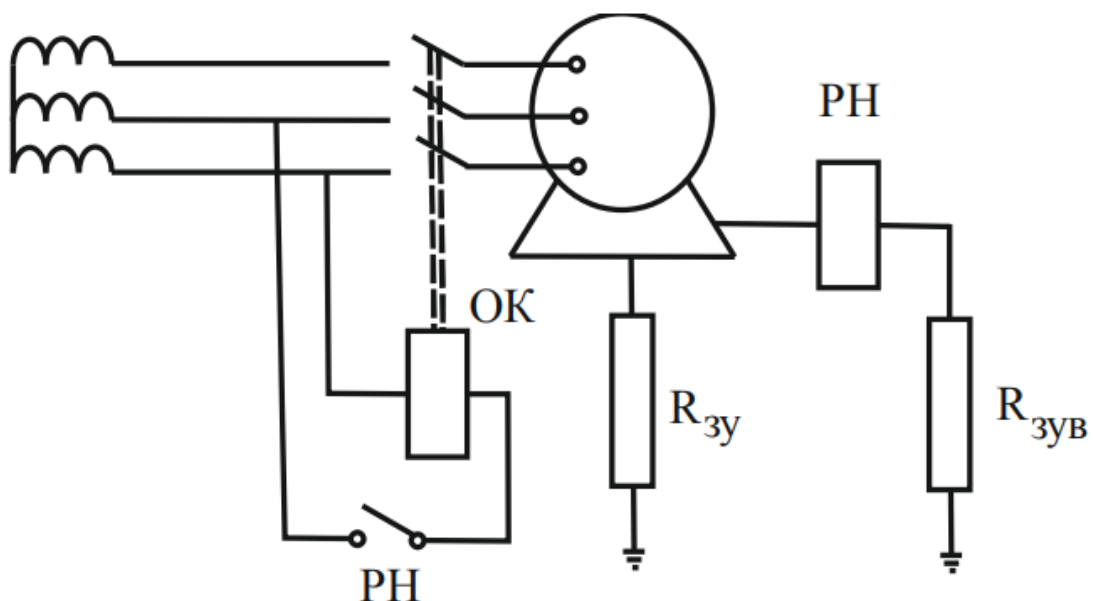


Рис. 23. Схема ПЗВ на потенціалі корпусу щодо землі

ПЗВ, що реагують на потенціал корпусу відносно землі.

Призначення УЗО цього типу (рис. 21) – швидке вимикання ушкодженої установки, якщо потенціал U_k перевищує припустимий $U_{доп}$.

Датчиком у цій схемі є реле напруги РН, включене між корпусом апарата, що захищається, і допоміжним заземлювачем $R_{зув}$, який варто встановлювати поза полем розтікання з основного заземлювача $R_{зу}$ (тобто на відстані ≥ 20 м). При замиканні фази на корпус спочатку проявляється захисна дія заземлення і, якщо потенціал корпуса перевищить $U_{доп}$, спрацює ПЗВ.

Достоїнство схеми – її простота. Недоліки – необхідний додатковий заземлювач, неселективність відключення при загальному заземленні, зануленні, відсутність самоконтролю, не постійна величина уставки при змінах $R_{зув}$.

Область застосування обмежується окремими пересувними електроустановками.

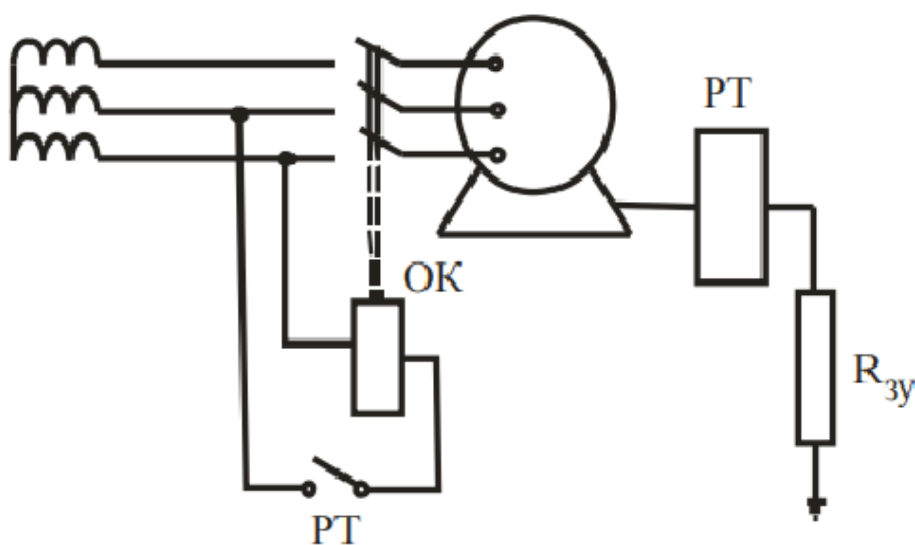


Рис. 24. Схема ПЗВ на струмі замикання на землю

ПЗВ, що реагують на струм замикання на землю

Призначення ПЗВ цього типу (рис. 24) – швидке відключення ушкодженої установки при замиканні на заземлений корпус.

Датчиком у цій схемі є реле струму РТ, включене в розсічення заземлюючого провідника. Струмове реле може бути включене й у розсічення нульового захисного провідника в схемі занулення. Такі ПЗВ відрізняються чіткістю спрацювання.

Область застосування - ручний електрифікований інструмент, пересувні електроустановки. Достоїнства цієї схеми:- простота, відносно висока надійність, селективність вимієання. Недоліки: при обриві заземлюючого або нульового провідника ПЗВ перестає працювати, відсутність самоконтролю.

ПЗВ, що реагує на напругу нульової послідовності

Призначення ПЗВ цього типу (рис. 25) - усунення небезпеки ураження струмом, що виникає при глухому замиканні на землю однієї або двох фаз.

Датчиком у цій схемі є фільтр напруги нульової послідовності, включений між фазами й землею. Фільтр може бути реалізований на різних елементах (конденсаторах, вольтметрах, лампочках, резисторах і т.п.).

Область застосування ПЗВ, що реагують на напругу нульової послідовності, - трифазні мережі з ізольованою нейтраллю малої довжини напругою до 1000 В.

Достоїнства цієї схеми:- простота, надійність спрацьовування при глухих замиканнях на землю. Недоліки:- не селективність спрацьовування, нечутливість до симетричної зміни опору ізоляції проводів, відсутність самоконтролю справності.

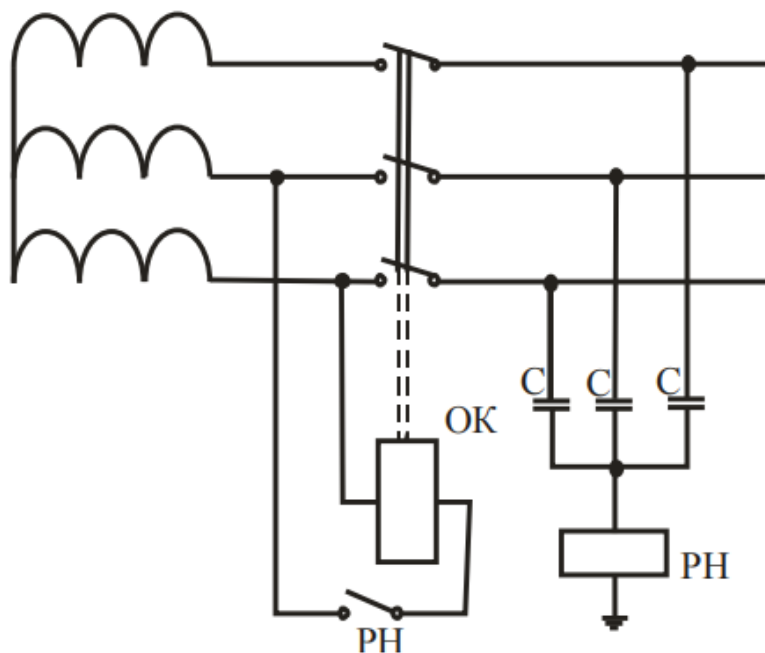


Рис. 25. Схема ПЗВ реле напруги нульової послідовності

ПЗВ, що реагує на напругу фази відносно землі

У схемах цього типу (рис. 26) датчики (звичайне реле напруги) включають між фазами й землею. У нормальному режимі напруга фаз щодо землі близька до фазних напруг джерела живлення. При замиканні фази на землю напруга цієї фази щодо землі зменшується і відповідні реле напруги знеструмлюється, що приводить до відключення мережі. вимикання відбудеться і при обриві ланцюга будь-якого реле, що забезпечує самоконтроль справності схеми.

Достоїнства цієї схеми й недоліки такі ж, як і схем на напруги нульової послідовності, за винятком самоконтролю, але пристрій ускладнюється наявністю трьох реле замість одного. Вставка вибирається рівній половині лінійної напруги мережі, виходячи з можливості подвійного замикання на землю.

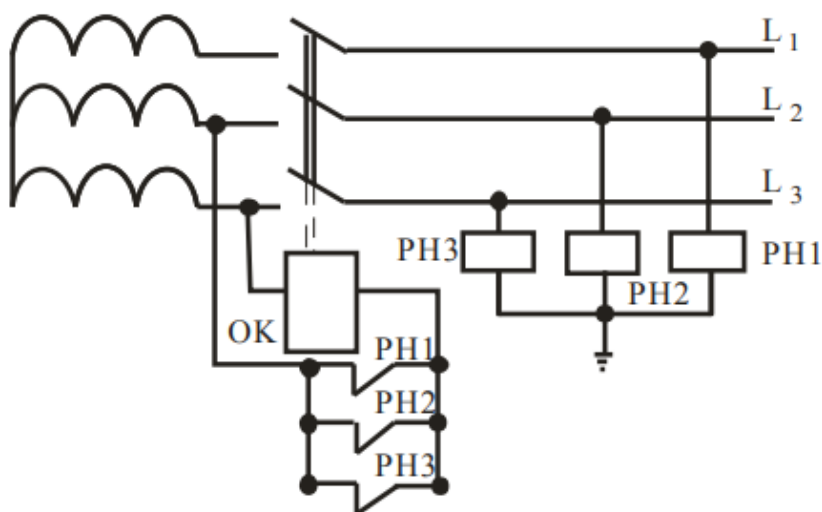


Рис. 26. Схема ПЗВ, що реагує на напругу фази відносно землі

Область застосування ПЗВ практично не обмежена, однак найбільше застосування знайшли в мережах напругою до 1000 В.

Захисне вимикання є досить ефективним засобом, особливо коли висока ймовірність випадкового дотику людини до струмоведучих частин і важко здійснити заземлення або занулення. Захисне вимикання незамінне для ручного електроінструмента й пересувних електроустановок

При використанні занулення в мережах значної протяжності абсолютне значення струму короткого замикання може бути недостатнім для надійного спрацьовування захисту від коротких замикань. Крім того, коротке замикання

може призвести до значних пошкоджень електроустановки, а занулення установки не захищає людину у випадку дотику до її струмовідних частин. Ефективність захисту може бути суттєво підвищена за допомогою пристроїв захисного вимикання, спрацьовування яких може бути спричинене струмами витоку на землю з корпуса електроустановки, зниженням опору ізоляції фази відносно землі тощо.

Промисловістю серійно випускаються різноманітні пристрої захисного вимикання. На рис. 27 наведений приклад виконання пристрою захисного вимикання з диференційним трансформатором струму. За справного стану електроустановки величина струму в фазному і нульовому робочому провідниках однакова і напруга на виході диференційного трансформатора дорівнює нулю. При пошкодженні ізоляції з'являється додаткове коло струму через нульовий захисний провідник, у результаті чого симетрія струмів через трансформатор порушується, на його виході виникає напруга і пристрій захисного вимикання подає команду на вимикач S_1 . Аналогічним чином пристрій спрацьовує при дотику людини до струмовідних частин електроустановки. Періодична перевірка справності пристрою здійснюється шляхом замикання контакта S_2 , що призводить до порушення симетрії струмів через трансформатор.

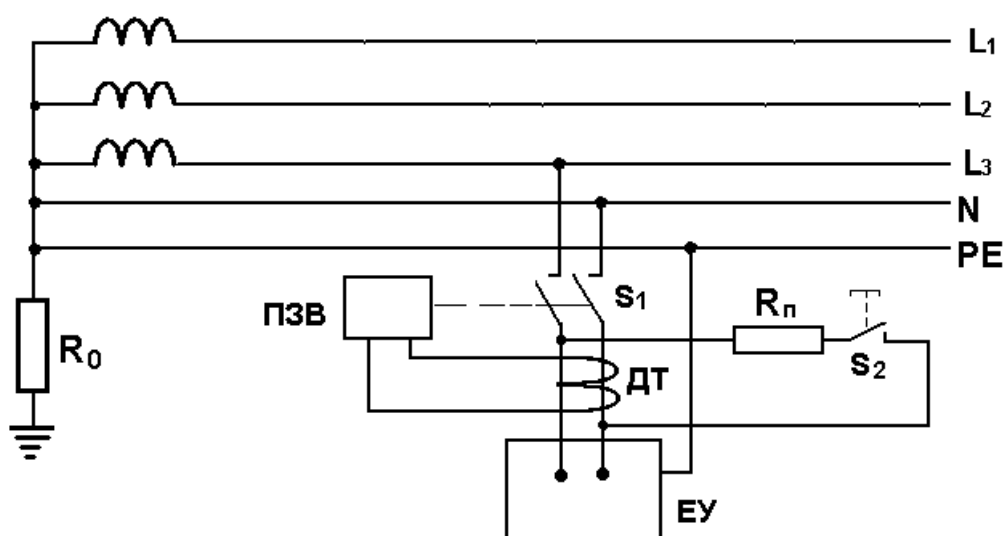


Рис. 27. Схема пристрою захисного вимикання з диференційним трансформатором струму

13. Електрозахисні засоби

Електрозахисні засоби – це технічні вироби, що не є конструктивними елементами електроустановок і використовуються при виконанні робіт з метою запобігання електротравм.

Перелік засобів захисту, вимоги до їх конструкції, обсягів і норм випробувань, порядку застосування і зберігання, комплектування ними електроустановок та виробничих бригад наведено в НПАОП 1.1.10-1.07-01 «Правила експлуатації електрозахисних засобів» (у подальшому Правила).

Електрозахисні засоби поділяються на ізолювальні (ізолювальні штанги, кліщі, накладки, діелектричні рукавички тощо), огорожувальні (огороді, щитки, ширми, плакати) та запобіжні (окуляри, каски, запобіжні пояси та рукавиці для захисту рук).

Ізолювальні електрозахисні засоби призначені для ізоляції людини від частин електрообладнання, котрі знаходяться під напругою, а також від землі. Ізолювальні електрозахисні засоби поділяються на основні і додаткові. Основні – розраховані на напругу установки і при дотриманні вимог безпеки щодо користування ними забезпечують захист працівників. Додаткові – не забезпечують надійного захисту працюючих і застосовуються одночасно з основними для підвищення рівня безпеки. У разі застосування основних електрозахисних засобів достатньо використовувати один додатковий засіб. Перелік основних і додаткових ізолювальних електрозахисних засобів залежно від величини напруги електроустановки наведений у табл. 2 і 3.

Таблиця 2

Основні електрозахисні засоби для роботи в електроустановках

До 1000 В	Понад 1000 В
Ізолювальні штанги Ізолювальні кліщі	Ізолювальні штанги Ізолювальні кліщі

Електровимірювальні кліщі Показчики напруги Діелектричні рукавиці Інструмент з ізолювальним покриттям	Електровимірювальні кліщі Показчики напруги
--	--

Вимоги щодо комплектування електроустановок електрозахисними засобами регламентуються Правилами, Положенням про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту (НПАОП 0.00-4.26-96), галузевими чинними нормативами тощо.

Таблиця 3

Додаткові електрозахисні засоби для роботи в електроустановках

До 1000 В	Понад 1000 В
Діелектричне взуття Діелектричні килими Ізолювальні підставки Ізолювальні накладки Ізолювальні ковпаки	Діелектричні рукавиці Діелектричне взуття Діелектричні килими Ізолювальні підставки Ізолювальні накладки Ізолювальні ковпаки Штанги для перенесення і вирівнювання потенціалу

Огороджувальні електрозахисні засоби призначені для тимчасового огороження струмовідних частин обладнання. До них відносяться переносні огорожі (ширми, бар'єри, щити, клітки), а також тимчасові переносні заземлення. Умовно до них відносять і переносні попереджувальні плакати.

Запобіжні захисні засоби призначені для захисту персоналу від падіння з висоти (запобіжні пояси та страхувальні канати), для безпечного підняття на висоту (драбини, кігті), а також для захисту від світлового, теплового, механічного та хімічного впливів (захисні окуляри, протигази, рукавиці, спецодяг).

Після виготовлення та періодично під час експлуатації електрозахисні засоби підлягають випробуванням. Вимоги до термінів випробування, методики та параметри цих випробувань регламентуються Правилами залежно від типу електрозахисних засобів.

Перед кожним застосуванням електрозахисні засоби повинні оглядатися. При оглядах звертається увага на їх справність, відсутність тріщин, подряпин та деформації ізолювальних елементів, терміни чергової перевірки. У разі виявлення перелічених дефектів чи простроченого терміну чергового випробування використовувати електрозахисні засоби забороняється.

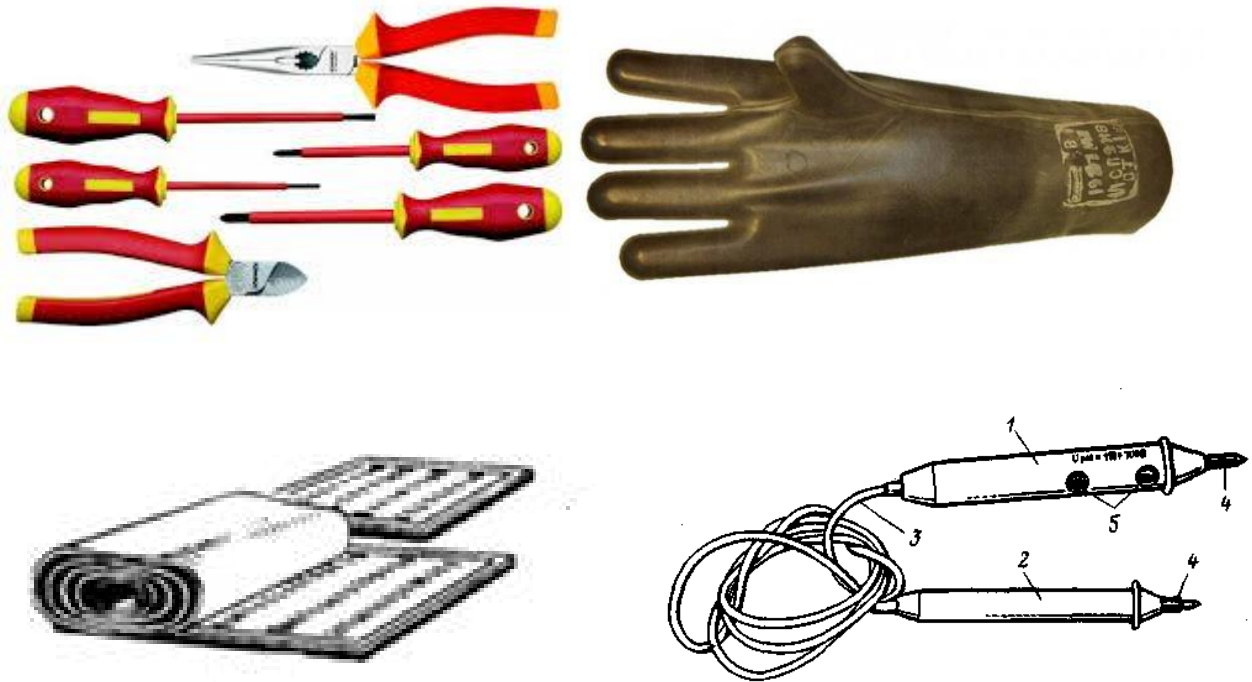


Рис. 28. Електрозахисні засоби для роботи в електроустановках до 1000 В



Рис. 29. Електрозахисні засоби для роботи в електроустановках понад 1000 В

14. Блискавкозахист

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

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.

Під вторинними проявами блискавки розуміють явища під час близьких розрядів блискавки, що супроводжуються появою потенціалів на конструкціях, трубопроводах, електропроводах в середині будівель і споруд, які не зазнали прямого удару блискавки. Вони виникають в наслідок електростатичної та електромагнітної індукції.

Електростатична індукція проявляється у наведенні потенціалів на металевих елементах конструкції, в незамкнутих металевих контурах, що може викликати іскріння всередині будівель та споруд і тим самим ініціювати пожежу чи вибух.

Електромагнітна індукція супроводжується появою в просторі змінного магнітного поля, яке індукує в металевих контурах, що утворені із різних протяжних комунікацій (трубопроводів, електропроводів і т. п.) електрорушійну силу (ЕРС). У замкнутих контурах ЕРС призводить до появи наведених струмів. У контурах, в яких контакти не достатньо надійні в місцях з'єднання, такі струми можуть викликати іскріння або сильне нагрівання, що дуже небезпечно для приміщень, де утворюється вибухо- та (або) пожежонебезпечні концентрації.

Ще однією особливістю вторинного прояви блискавки є занесення високих потенціалів у будівля по металоконструкціях, які підведенні в цю будівлю (трубопроводах, рейкових шляхах, естакадах, проводах ліній електропередач і т. п.).

Такі занесення супроводжуються електричними розрядами, які можуть стати джерелом вибуху чи пожежі.

Захист об'єктів від прямих ударів блискавки забезпечується шляхом встановлення блискавковідводів. За конструктивним виконанням блискавковідводи поділяються на стержневі, тросові та сітчасті, а за кількістю та загальною площею захисту – на одинарні, подвійні та багатократні.

Блискавковідвід характеризується зоною захисту – частиною простору, навколо блискавковідводу, яка захищена від прямих ударів блискавки з відповідним ступенем надійності. За величиною ступеня надійності зони захисту можуть бути двох типів: зона А – ступінь надійності не менше 99,5 %, зона Б – не менше 95 %. Тип зони захисту блискавковідводу залежить від очікуваної кількості уражень блискавкою будівель та споруд без блискавкозахисту за рік.

Захист від електростатичної індукції (вторинний прояв блискавки) здійснюється приєднанням устаткування до заземлювача для відведення електростатичних зарядів, індукованих блискавкою, в землю. Захист від електромагнітної індукції полягає у встановленні методом зварювання перемичок між протяжними металоконструкціями в місцях їхнього зближення менш ніж на 10 см. Інтервал між перемичками повинен становити не більше 20 м. Це дає змогу наведеному струму блискавки переходити з одного контуру в інший без утворення електричних розрядів. Захист від занесення високих потенціалів у будівлю здійснюється шляхом приєднання до заземлювача металоконструкцій перед їх введенням у будівлю.

Будівлі та споруди поділяються за рівнем блискавкозахисту на три категорії. Приналежність об'єкта, що підлягає блискавкозахисту, до тієї чи іншої категорії визначається головним чином його призначенням та класом вибухопожежонебезпечних зон згідно ПУЕ.

I категорія – будівлі та споруди або їх частини з вибухонебезпечними зонами класів В-I та В-II.

II категорія – будівлі та споруди або їх частини, в яких наявні вибухонебезпечні зони В-Ia, В-Iб, В-IIa. До цієї ж категорії належать зовнішні установки кла-

су В-Іг та склади, у яких зберігаються вибухонебезпечні матеріали, легкозаймисті та горючі рідини.

ІІІ категорія – будівлі та споруди з пожежонебезпечними зонами класів П-I, П-II та П-Іа; зовнішні технологічні установки, відкриті склади горючих речовин, що належать до зон класів П-ІІІ; димові та інші труби підприємств і котельних, башти та вишки різного призначення висотою 15 м і більше.

Об'єкти I та II категорії необхідно захищати як від прямих ударів блискавки, так і від вторинних її проявів. Будівлі та споруди III категорії повинні мати захист від прямих ударів блискавки та занесення високих потенціалів, а зовнішні установки – тільки від прямих ударів.

15. Електромагнітні поля та випромінювання

На організм людини постійно діють електромагнітні поля та випромінювання. Основними їх природними джерелами є електромагнітне поле Землі, радіовипромінювання Сонця, атмосферні електричні поля тощо.

Електромагнітні поля та випромінювання виникають при роботі систем електропостачання та різноманітних машин і механізмів, що використовуються в різних галузях виробництва для індукційної та діелектричної термообробки різних матеріалів, збагачення корисних копалин, очищення повітря, отримання плазмового стану речовини, телебачення, радіомовлення, зв'язку і т.д.

Джерелами електромагнітних випромінювань радіочастот є потужні радіостанції, генератори надвисоких частот, установки індукційного і діелектричного нагрівання, радары, вимірювальні і контрольні пристрої, дослідницькі установки, високочастотні прилади і пристрої. Електростатичні поля та електромагнітні випромінювання у широкому діапазоні частот виникають при роботі персональних електронно-обчислювальних машин і відеодисплейних терміналів. Джерелами електромагнітних полів промислової частоти є будь-які електроустановки і струмопроводи промислової частоти. Чим вище напруга і більше струм, що протікає в них, тим вище напруженість полів.

Діапазон природних і штучних полів дуже широкий: починаючи від постійних магнітних і електростатичних полів і закінчуючи рентгенівським і гамма-випромінюванням частотою $3 \cdot 10^{21}$ Гц і вище. Кожний з діапазонів електромагнітних випромінювань по-різному впливає на живий організм. У цьому розділі розглядаються питання захисту від електромагнітних полів та електромагнітних випромінювань з частотою від 3 до $3 \cdot 10^{12}$, які прийнято відносити до випромінювань радіочастотного діапазону. Властивості і дія цього випромінювання на людину суттєво відрізняються від випромінювань оптичного діапазону (інфрачервоного, видимого, ультрафіолетового) та іонізуючих випромінювань.

До радіохвильового діапазону відносяться електромагнітні випромінювання з частотою від 3 до $3 \cdot 10^{12}$ Гц. Номенклатура діапазонів частот електромагнітних полів (ЕМП) наведена у табл. 4.

Таблиця 4

Характеристика спектру електромагнітних випромінювань

Назва діапазону	Діапазон частот	Довжина хвилі	Назва хвилі
Низькі частоти (НЧ)	0,003 – 0,3 Гц	$10^7 - 10^6$ км	Інфранизькі
	0,3 – 3,0 Гц	$10^6 - 10^4$ км	Низькі
	3,0 – 300 Гц	$10^4 - 10^2$ км	Промислові
	300 Гц – 30 кГц	$10^2 - 10$ км	Звукові
Високі частоти (ВЧ)	30 – 300 кГц	10 – 1 км	Довгі
	300 кГц – 3 МГц	1 км – 100 м	Середні
	3 – 30 МГц	100 – 10 м	Короткі
Ультрависокі частоти (УВЧ)	30 – 300 МГц	10 – 1 м	Ультракорткі
Надвисокі частоти (НВЧ)	300 МГц – 3 ГГц	100 – 10 см	Дециметрові
	3 ГГц – 30 ГГц	10 – 1 см	Сантиметрові
	30 ГГц – 300 ГГц	10 – 1 мм	Міліметрові

Електромагнітне поле (електромагнітне випромінювання) оцінюється векторами напруженості електричного E (В/м) і магнітного H (А/м) полів, що характеризують силові властивості ЕМП.

У діапазоні частот до 300 МГц біля джерела випромінювання виділяють ближню зону чи зону індукції і далеку зону чи хвильову. У зоні інду-

кції електричне і магнітне поля можна вважати незалежними одне від одного. У хвильовій зоні, де вже сформувалася електромагнітна хвиля, при поширенні у вакуумі і повітрі ці величини зв'язані співвідношенням $E=377H$. В електромагнітній хвилі вектори E і H завжди взаємно перпендикулярні. Довжина хвилі λ , частота коливань f і швидкість поширення електромагнітних хвиль у повітрі c зв'язані співвідношенням $c = \lambda f$.

Електромагнітне випромінювання у хвильовій зоні прийнято характеризувати інтенсивністю випромінювання I (густина потоку енергії), що у загальному виді визначається векторним добутком E і H і для сферичних хвиль при поширенні в повітрі може бути виражена як

$$I = \frac{P_{дж}}{4\pi r^2}, \text{ Вт/м}^2,$$

де $P_{дж}$ – потужність джерела, Вт; r – відстань від джерела, м.

Для оцінки впливу електромагнітного поля на людину використовується поняття потужності поглиненого тілом людини випромінювання P , Вт:

$$P = IS_{ef},$$

де S_{ef} – ефективна поглинаюча поверхня тіла людини, м².

Слід відзначити, що у виробничому приміщенні електромагнітне поле від джерела спотворюється так званим «полем вторинного випромінювання», тобто електромагнітним полем, відбитим від різноманітних поверхонь. Вторинне випромінювання накладається на основне поле і змінює його параметри. Розрахувати параметри поля вторинного випромінювання і, тим більше, результативного поля практично неможливо.

Електромагнітні поля та випромінювання можуть негативно впливати на людину. Характер цього впливу залежить від діапазону частот, інтенсивності та тривалості дії випромінювання, розміру поверхні тіла, що опромінюється, та індивідуальних особливостей організму. Розрізняють термічну (теплову) дію та функціональні й морфологічні зміни.

Первинним проявом дії електромагнітної енергії є нагрів, який може призвести до змін і навіть до пошкодження тканин і органів тіла людини. Підви-

щення температури може бути загальним або мати локальний характер. Нагрів особливо небезпечний для органів зі слабкою терморегуляцією та для тих, у складі яких багато води (мозок, очі, нирки, органи кишкового та сечостатевого тракту, сім'яні залози). Коливання надвисоких частот можуть викликати також помутніння кришталика ока.

При тривалій дії електромагнітного випромінювання на людину можуть з'являтися функціональні зміни у вигляді головного болю, порушення сну, підвищеної стомливості, дратівливості, пітливості, випадення волосся, болях у ділянці серця, зниження статевої потенції та ін. Функціональні порушення, викликані біологічною дією електромагнітного випромінювання, здатні в організмі людини накопичуватися, але в той же час є зворотними, якщо виключити дію випромінювання на людину та покращити умови праці.

У тканинах периферичної та центральної нервової системи та серцево-судинній системі спостерігаються морфологічні зміни, що проявляються у порушенні регуляторних функцій та нервових зв'язків в організмі або зміні структури самих клітин, зниженні кров'яного тиску (гіпотонія), уповільненні ритму скорочення серця (брадикардія) тощо. Спостерігаються також зміни у будові та зовнішньому вигляді тканин і органів тіла людини (опіки, омертвляння, крововиливи, зміни структури клітин тощо).

Незважаючи на значну кількість проведених досліджень, питання механізму впливу цього випромінювання на біологічні системи залишається ще відкритим. Точно встановленою можна вважати тільки теплову дію, а механізм і особливості впливу нетеплових форм біологічної дії ще до кінця нез'ясовані. Нетеплова дія може бути обумовлена специфічним впливом випромінювань радіочастотного діапазону на деякі біохімічні явища: біоелектричну активність, вібрацію субмікроскопічних структур, енергетичне порушення на молекулярному рівні.

Нормування електромагнітних випромінювань радіочастотного діапазону на робочих місцях здійснюється згідно з ГОСТ 12.1.006-84. Дія цього нормативно-правового акта розповсюджується на електромагнітні випромінювання в ді-

апазоні частот 60 кГц – 300 ГГц. У діапазоні частот 60 кГц – 300 МГц нормованими параметрами є напруженість електричної E та магнітної H складових поля (табл. 5), а у діапазоні 300 МГц – 300 ГГц нормативним параметром є густина потоку енергії (ГПЕ), див. табл. 6. Нормативною величиною є також гранично допустиме енергетичне навантаження за електричною EH_E , $(В/м)^2 \cdot год$, та магнітною EH_H , $(А/м)^2 \cdot год$, складовими полів:

$$EH_E = (E_n)^2 \cdot T;$$

$$EH_H = (H_n)^2 \cdot T,$$

де E_n , H_n – нормативне значення напруженості електричної і магнітної складової полів, В/м та А/м; T – тривалість дії полів на протязі робочого дня, год.

Таблиця 5

Гранично допустимі значення $E_{зд}$ і $H_{зд}$ на робочих місцях

Параметр	Діапазон частот, МГц		
	Від 0,06 до 3	Більше 3 до 30	Більше 30 до 300
$E_{зд}$, В/м	500	300	80
$H_{зд}$, А/м	50	-	-
$EH_{Eзд}$ $(В/м)^2 \cdot год$	20000	7000	800
$EH_{Hзд}$ $(А/м)^2 \cdot год$	200	-	-

Таблиця 6

Гранично допустимі величини густини потоку енергії в діапазоні частот 300 МГц – 300 ГГц

Густина потоку енергії, Вт/м ²	Допустимий час перебування в зоні впливу ЕМП	Примітки
До 0,1	Робочий день	
0,1 – 1,0	Не більше 2 годин	В інший робочий час густина потоку енергії не повинна перевищувати 0,1 Вт/м ²
1,0 – 10,0	Не більше 10 хв.	За умови використання захисних окулярів. В інший робочий час густина потоку енергії не повинна перевищувати 0,1 Вт/м ²

За одночасної дії електричного і магнітного полів умови праці вважаються допустимими, якщо

$$GH_E / EH_{Eзд} + EH_H / EH_{Hзд} \leq 1,$$

де EH_E і EH_H – енергетичні навантаження, що характеризують фактичну дію електричного і магнітного полів.

Для електромагнітних полів промислової частоти (50 Гц) нормативи встановлюються згідно з ГОСТ 12.1.002-84 та ДСН 239-96. Для робочих місць вводиться обмеження часу перебування працюючих під дією електромагнітного поля: при напруженості 5 кВ/м – 8 год; при напруженості від 5 до 20 кВ/м включно – визначається за формулою $T = (50/E) - 2$ години (де E – фактична напруженість); при напруженості більше 20 до 25 кВ/м – 10 хв.

Санітарними нормативами встановлюються також захисні зони поблизу ліній електропередачі залежно від їх напруги: 20 м для лінії з напругою 300 кВ, 30 м – 500 кВ і 55 м – 1150 кВ.

Вимірювання параметрів електромагнітних випромінювань слід виконувати не рідше одного разу на рік, а також при введенні в дію нових установок, внесенні змін у конструкцію, розміщення чи режим роботи установок, при створенні нових робочих місць та внесенні змін у засоби захисту від дії випромінювань. Для виміру інтенсивності випромінювань застосовують вимірювачі напруження електромагнітних полів (рис. 18).



Рис. 18. Вимірювачі електромагнітних випромінювань ПЗ-41 (а) та Циклон-4 (б)

Класифікація засобів та заходів захисту від електромагнітних випромінювань радіочастотного діапазону наведена на рис. 19.



Рис. 19. Класифікація засобів захисту від електромагнітних випромінювань

Залежно від умов експлуатації обладнання, діапазону частот, розташування робочого місця, рівня опромінення застосовують такі методи захисту: захист часом та відстанню, зменшення випромінювання у самому джерелі, екранування джерела полів або випромінювань, екранування робочих місць, засоби індивідуального захисту, раціональне розташування в приміщенні установок, раціоналізація режимів експлуатації установок та роботи обслуговуючого персоналу, застосування попереджувальної світлової та звукової сигналізації.

Захист часом передбачає обмеження часу перебування людини в робочій зоні, якщо інтенсивність опромінення перевищує встановлені норми. Цей метод використовується, коли немає можливості знизити інтенсивність опромінення до допустимих значень і лише для електричного поля частотою 50 Гц та випромінювань у діапазоні частот 300 МГц – 300 ГГц.

Якщо інтенсивність опромінення в діапазоні 300 МГц – 300 ГГц знаходиться між двома нормованими рівнями (табл. 5), то допустиме значення часу опромінення визначається за формулою

$$t_{\text{дон}} = T \frac{1 + 0,005\psi / \psi_{\text{дон}}}{0,65 + 0,355\psi / \psi_{\text{дон}}},$$

де ψ – інтенсивність опромінення, Bm/m^2 ; $\psi_{дон}$ – допустима інтенсивність опромінення, Bm/m^2 .

Захист відстанню застосовується тоді, коли неможливо послабити інтенсивність опромінення за допомогою інших методів. У цьому випадку збільшують відстань між джерелом випромінювання та обслуговуючим персоналом. У ближній зоні при спрямованому випромінюванні цей метод не застосовується, оскільки в цій зоні густина поверхневої енергії не залежить від віддалі.

Передбачено також улаштування санітарно-захисних зон.

Санітарно-захисна зона для передавальних радіостанцій, обладнаних антенами неспрямованої дії, для телецентрів і телевізійних ретрансляторів, а також для радіолокаційних станцій кругового огляду встановлюється по колу.

Для передавальних радіостанцій, обладнаних антенами спрямованої дії, а також для радіолокаційних станцій, антени яких сканують у визначеному секторі або фіксують у заданому напрямку, санітарно-захисна зона встановлюється в напрямку дії випромінювання електромагнітних хвиль.

Земельні ділянки, що входять у санітарно-захисну зону, не вилучаються у землекористувачів і можуть використовуватись як сільськогосподарські угіддя, а також для розміщення на них виробничих споруд, що належать радіотехнічному об'єкту або іншим відомствам, з дотриманням діючих санітарних норм і правил.

Зниження випромінювання в джерелі виникнення досягається шляхом застосування спеціальних пристроїв – поглиначів потужності, атенюаторів, спрямованих відгалужувачів, хвилеводних ослаблювачів. Наприклад, широкого розповсюдження набули радіопоглинальні матеріали, які забезпечують максимально можливе перетворення енергії електромагнітного випромінювання в інший вид енергії.

Виділення зон випромінювання. Для кожного випадку розташування апаратури експериментально визначають межі зони, де інтенсивність опромінення перевищує гранично допустимі значення. Такі вимірювання здійснюють при роботі апаратури на максимальну потужність. Установки огорожують або вивішують по-

переджувальний надпис „*Не заходити, небезпечно!*”. Така зона може додатково позначатись яскравою фарбою на підлозі приміщення.

Один з найбільш ефективних технічних засобів захисту від електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону є екранування. Для екранів використовують матеріали з великою електричною провідністю.

Принцип дії захисних екранів базується на поглинанні енергії випромінювання матеріалом з наступним відведенням в землю, а також на відбиванні її від екрану.

Основна характеристика екрана – ступінь послаблення електромагнітного поля, тобто ефективність екранування, що є відношенням E , H , ψ у даній точці за відсутності екрана до E_e , H_e , ψ_e у тій же точці з екраном.

Ступінь послаблення електромагнітного поля залежить від глибини проникнення високочастотного струму в товщину екрана. Чим більша магнітна проникність екрана і чим вища частота екранованого поля, тим менша глибина проникнення і необхідна товщина екрана.

Засобами індивідуального захисту слід користуватися у тих випадках, коли застосування інших способів запобігання впливу електромагнітних випромінювань неможливе. Широко застосовують захисні халати, комбінезони, окуляри. Для захисту органів зору застосовують сітчасті окуляри, або окуляри із спеціальним склом, покритим струмопровідним шаром двооксиду олова.

16. Організаційні заходи щодо попередження електротравм

Згідно з НПАОП 0.00-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» (далі Правила) відповідальність за організацію безпечної експлуатації електроустановок покладається на роботодавця, який створює необхідні для цього служби, призначає відповідальних осіб, розробляє та затверджує інструкції, забезпечує перевірку знань з електробезпеки тощо.

Згідно з чинними вимогами роботодавець повинен:

- призначити відповідального за справний стан і безпечну експлуатацію електроустановок (далі — відповідальний за електрогосподарство);
- створити і укомплектувати відповідно до потреб електротехнічну службу;
- розробити і затвердити посадові інструкції працівників електротехнічної служби та інструкції з безпечного виконання робіт в електроустановках з урахуванням їх особливостей;
- створити на підприємстві такі умови, щоб працівники, на яких покладено обов'язки з обслуговування електроустановок, відповідно до чинних вимог своєчасно здійснювали їх огляд, профілактичні, протиаварійні та приймально-здавальні випробування;
- забезпечити своєчасне навчання і перевірку знань працівників з питань електробезпеки.

На малих підприємствах за неможливості чи недоцільності створення електротехнічної служби власник, на договірних засадах, доручає електротехнічним службам споріднених підприємств або фізичним особам, які мають відповідну підготовку, забезпечення справного стану і безпечної експлуатації електроустановок.

Обслуговування діючих електроустановок, проведення в них оперативних переключень, організація та виконання ремонтних, монтажних, налагоджувальних робіт та випробувань здійснюються спеціально підготовленим електротехнічним персоналом. Ці працівники повинні мати відповідну професійну підготовку, групу з електробезпеки (I – V), підтверджену посвідченням установленної форми, і не мати медичних протипоказань і вікових обмежень щодо можливості виконання роботи в електроустановках.

I група з електробезпеки присвоюється особам без спеціальної електротехнічної підготовки, які пройшли інструктаж з електробезпеки під час роботи в даній електроустановці.

Для одержання **II - III груп** працівники повинні: знати будову електроустановок; чітко усвідомлювати небезпеку, пов'язану з роботою в електроустано-

вках; знати і вміти застосовувати на практиці правила безпеки в обсязі, потрібному для виконуваної роботи, уміти практично надавати першу допомогу потерпілим у разі нещасних випадків.

Для одержання **IV - V груп** додатково необхідно знати компонування електроустановок, вміти організувати безпечне виконання робіт, проводити навчання працівників інших груп Правилам безпеки та надавання першої допомоги потерпілим від електричного струму, а працівники **V групи** повинні також розуміти, чим викликані вимоги пунктів Правил безпечної експлуатації електроустановок.

Для присвоєння I групи стаж роботи в електроустановках не нормується. Для присвоєння наступної групи з електробезпеки необхідно мати стаж роботи в електроустановках, який регламентується Правилами.

Працівнику, який пройшов перевірку знань з електробезпеки видається посвідчення, яке під час виконання службових обов'язків він повинен мати при собі. За відсутності посвідчення або за прострочених термінів чергової перевірки знань працівник до роботи не допускається. Чергові перевірки знань працівників, що обслуговують електроустановки, проводяться кожні 12 місяців.

За вимогами і заходами безпеки роботи в електроустановках поділяються на три категорії:

- зі зняттям напруги;
- без зняття напруги на струмовідних частинах або поблизу них;
- без зняття напруги на безпечній відстані від струмовідних частин, що перебувають під напругою.

Безпечні відстані від струмовідних частин встановлюються Правилами залежно від напруги електроустановки (від 0,6 до 3 м).

За вимогами щодо організації роботи в електроустановках поділяються на такі, що виконуються:

- за нарядами-допусками;
- за розпорядженнями;

- у порядку поточної експлуатації.

Наряд-допуск – це завдання на безпечне виконання роботи, оформлене на спеціальному бланку встановленої форми. Він визначає зміст, місце виконання роботи, час її початку та закінчення, умови її безпечного виконання, склад бригади та осіб, відповідальних за безпечне виконання роботи. Відповідальними за безпечне виконання робіт є: працівник, який видає наряд чи розпорядження; працівник, який дає дозвіл на підготовку робочого місця; працівник, який готує робоче місце; працівник, який допускає до роботи; керівник робіт; працівник, який наглядає за безпечним виконанням робіт; члени бригади.

Роботи, що виконуються за розпорядженнями, реєструються в спеціальному журналі. При цьому встановлюється час виконання робіт, їх характер і організаційно-технічні заходи безпеки відповідно до чинних вимог.

Інформація щодо робіт, які виконуються в порядку поточної експлуатації, заноситься в журнал реєстрації цих робіт.

На підприємствах наказом затверджується перелік робіт, які виконуються за нарядами, за розпорядженнями та в порядку поточної експлуатації, і призначаються особи, відповідальні за безпечну організацію і безпечне виконання цих робіт.

Фахівці служби охорони праці зобов'язані контролювати безпечну експлуатацію електроустановок і повинні мати групу IV з електробезпеки.

Працівники, що обслуговують електроустановки повинні мати відповідну професійну підготовку, групу з електробезпеки, підтверджену посвідченням встановленої форми (I...V), і не мати медичних протипоказань і вікових обмежень щодо можливості виконання роботи в електроустановках.

Під час виконання службових обов'язків працівник повинен мати при собі посвідчення. За відсутності посвідчення або за прострочених термінів чергової перевірки знань працівник до роботи не допускається. Чергові перевірки знань працівників, що обслуговують електроустановки, проводяться кожні 12 місяців.

За вимогами і заходами безпеки роботи в електроустановках поділяються на три категорії:

- зі зняттям напруги;
- без зняття напруги на струмовідних частинах або поблизу них;
- без зняття напруги на безпечній відстані від струмовідних частин, що перебувають під напругою.

До робіт, що виконуються зі зняттям напруги, відносяться роботи, що проводяться в електроустановці, в якій зі струмовідних частин знято напругу і доступ в електроустановки, що перебувають під напругою, унеможливлено.

До робіт, що виконуються без зняття напруги на струмовідних частинах та поблизу них, належать роботи, що проводяться безпосередньо на цих частинах або на відстанях від цих частин, менших безпечних.

До робіт без зняття напруги на безпечній відстані від струмовідних частин, що перебувають під напругою, належать роботи, при виконанні яких випадкове наближення людей, інструменту чи механізмів на меншу за безпечну відстань до цих частин є неможливим.

Безпечні відстані від струмовідних частин, що перебувають під напругою, відповідно до НПАОП 0.00-1.21-98 наведені в табл. 7

Таблиця 7

Безпечні відстані від струмовідних частин, що перебувають під напругою

Напруга, кВ	Відстань від людини, інструментів, огорожень, м, не менше	Відстань від механізмів, м, не менше
До 1 кВ: на повітряних лініях в решті електроустановок	0,6 не нормується	1,0 1,0
6 - 35	0,6	1,0
110	1,0	1,5
150	1,5	2,0
220	2,0	2,5

17. Загальні вимоги правил безпеки до застосування електрообладнання в шахтах

Електрообладнання, у тому числі кабелі та системи електропостачання, в процесі експлуатації мають гарантувати електробезпеку працівників шахти, а також вибухо- і пожежобезпеку.

Електропостачання шахт, що будуються та реконструюються, повинно здійснюватися за схемами з відокремленим живленням підземних електроприймачів. Не допускається для підземних умов застосовувати кільцеві схеми електропостачання.

У шахтах мають застосовуватися мережі з ізолюваною нейтраллю трансформаторів. Мережа із глухозаземленою нейтраллю трансформатора застосовується тільки для живлення перетворювальних пристроїв контактних мереж електровозної відкатки.

Захист працівників від ураження електричним струмом має здійснюватися із застосуванням захисного заземлення, а в підземних електроустановках - також й апаратів захисту від витікання струму з автоматичним вимиканням пошкодженої мережі напругою до 1140 В.

Загальний час вимикання пошкодженої мережі напругою 380 В, 660 В і контактних мереж не повинен перевищувати 0,2 с, напругою 1140 В - 0,12 с. Для мереж напругою 127 і 220 В, а також зарядних мереж час спрацьовування апаратів захисту від витоків струму мереж не повинен перевищувати 0,1 с.

На кожній шахті мають бути схеми підземного електропостачання, складені відповідно до вимог чинного законодавства. Дозволяється складання суміщеної схеми електропостачання відкатки контактними електровозами та контактної мережі шахти, нанесеної на схематичний план гірничих виробок.

На кожній ділянці повинна бути структурна схема системи електропостачання та управління очисним комплексом (або комбайном), на якій позначені склад і розміщення у виробках (лаві та на штреках) комутаційної апаратури, зібраної в РПП, та окремо від цього машини, обладнання, кабелі, пульти та інші засоби системи. Така схема повинна вивішуватися на видному місці в нарядній ділянці та в місцях встановлення розподільних пунктів.

При монтажі і ремонті електрообладнання в шахтах, небезпечних за газом, має здійснюватися контроль за вмістом метану в місці проведення робіт переносними автоматичними приладами.

Під час робіт з випробування кабелю (мегомметром) вміст метану у виробках, якими він прокладений, повинен контролюватися і не перевищувати 1%.

Кожен комутаційний апарат, комплектний розподільний пристрій (далі - КРП), станції управління мають бути позначені чітким написом, що вказує установку, яка включається, або діляницю, а також розрахункову величину уставки спрацьовування максимального струмового захисту.

Кришки відділень апаратури, що мають електричні захисти, пристрої блокування та регулювання повинні пломбуватися іменними пломбірами.

Ручний електрифікований інструмент повинен зберігатися в спеціальному приміщенні та видаватися працівникам на період роботи. Ручний електрифікований інструмент напругою понад 42 В має видаватися в комплекті із засобами індивідуального захисту від ураження електричним струмом (діелектричні рукавички, калоші, килимки) та повинен обладнуватися розподільним трансформатором (перетворювачем із окремими обмотками) або захисним пристроєм, що вимикає струм.

Відкривати кришки оболонок вибухобезпечного електрообладнання у газових шахтах можна тільки після попереднього виміру концентрації метану та зняття напруги з відділення оболонки, що розкривається;

Область і умови застосування електрообладнання

У шахтах, небезпечних за газом та пилом, у стволах з вихідним струменем повітря і у надшахтних спорудах, що прилягають до стволів, у стволах зі свіжим струменем повітря та прилеглих до них надшахтних спорудах шахт, небезпечних за раптовими викидами вугілля, породи та газу, якщо існує можливість проникнення шахтного повітря в ці споруди, а також у підземних виробках шахт повинні застосовуватися:

електрообладнання з рівнем вибухозахисту не нижче рудникового вибухобезпечного виконання (далі - РВ);

стволова сигналізація з рівнем вибухозахисту рудникового підвищеної надійності проти вибуху (далі - РП);

аккумуляторні світильники індивідуального користування з рівнем вибухозахисту не нижче РВ.

В очисних і підготовчих виробках пластів крутого падіння, небезпечних за газодинамічними явищами, а також у виробках з вихідним струменем повітря з таких пластів і пластів пологих і похилих мають застосовуватися:

електрообладнання з рівнем вибухозахисту РО;

електрообладнання з рівнем вибухозахисту РВ, якщо воно застосовується з системою автоматичного швидкодійного вимикання напруги і одночасного закорочування джерел електрорушійної сили загальним часом не більше ніж 2,5 мс у разі замикання в силових колах між фазами і на землю або будь-якої фази на землю або з іншими системами, що автоматично відключають напругу живлення раніше, ніж концентрація метану досягне небезпечної величини.

Область і умови застосування електрообладнання з рівнем вибухозахисту РВ встановлюються проектом електропостачання шахти, що затверджується директором шахти. При цьому має передбачатися автоматичне захисне вимикання електроенергії стаціонарними автоматичними приладами контролю вмісту метану. Число і місця встановлення датчиків контролю вмісту метану визначаються за проектом.

На пологих і похилих пластах, небезпечних за раптовими викидами вугілля та газу, схеми електропостачання вибійних машин і комплексів мають забезпечувати дистанційне аварійне вимикання електроприймачів і кабелів лави з пульта управління цими машинами. Електрообладнання також має відключатися стаціонарними автоматичними приладами контролю вмісту метану.

У виробках шахт, небезпечних за газом або пилом, мають застосовуватися електровози з рівнем вибухозахисту РВ. При цьому у виробках з вихідним струменем повітря та тупикових виробках, що провітрюються ВМП, на шахтах III категорії, надкатегорних за газом та небезпечних за раптовими викидами на

електровозах повинні передбачатися переносні (індивідуальні) автоматичні прилади контролю вмісту метану.

Дозволяється застосування акумуляторних електровозів з рівнем вибухозахисту РП у відкотних виробках шахт I і II категорій за газом або небезпечних за пилом, а також у відкотних виробках зі свіжим струменем повітря шахт III категорії, надкатегорних за газом і в таких самих виробках на пластах, безпечних за раптовими викидами, шахт, небезпечних за викидами.

У відкотних виробках зі свіжим струменем повітря шахт I і II категорій за газом або небезпечних за пилом дозволяється застосування електрообладнання з рівнем вибухозахисту РП.

У зарядних камерах з відокремленим провітрюванням у шахтах, небезпечних за газом та пилом, у тому числі небезпечних за раптовими викидами, повинне застосовуватися електрообладнання з рівнем вибухозахисту не нижче РП. При цьому повітряний струмінь, що провітрює батареї, які заряджаються, не повинен обмивати електрообладнання зарядної камери.

В усіх виробках шахт, безпечних за газом, але небезпечних за вибухами вугільного пилу, має застосовуватися електрообладнання з рівнем вибухозахисту не нижче РП.

У стволах, приствольних виробках зі свіжим струменем повітря та камерах стаціонарних установок, провітрювання яких здійснюється свіжим струменем повітря за рахунок загальношахтної депресії, шахт, небезпечних за газом та пилом, за винятком випадків, коли в цих та прилеглих до них виробках, що подають свіжий струмінь повітря, є суфляри або коли шахта належить до небезпечних за раптовими викидами, дозволяється застосування електрообладнання в рудниковому нормальному виконанні.

На шахтах, небезпечних за газом та пилом, у приміщеннях вентиляторних і калориферних установок дозволяється застосування електрообладнання загального призначення за умови, що в ці приміщення не потрапляють шахтне повітря та вугільний пил.

За цієї самої умови дозволяється застосування електрообладнання загального призначення в електромашинних приміщеннях підйомних установок, розташованих на копрах стволів з вихідним струменем повітря шахт, небезпечних за газом чи пилом.

На шахтах, небезпечних за раптовими викидами, пристрої, що унеможливають проникнення шахтного повітря та вугільного пилу, повинні бути також на стволах зі свіжим струменем повітря.

В усіх виробках шахт, безпечних за газом чи пилом, має застосовуватися електрообладнання в рудниковому виконанні.

Вимірювальними приладами загального призначення дозволяється користуватися у всіх виробках шахт, безпечних за газом чи пилом.

Електричні проводки

Для передавання або розподілу електроенергії в підземних виробках і надшахтних будівлях, які належать до вибухонебезпечних, мають застосовуватися кабелі:

а) для стаціонарної прокладки капітальними та основними вертикальними і похилими виробками, проведеними під кутом понад 45 град., та обсадженими свердловинами - броньовані екрановані кабелі, зміцнені дротяною бронею у полівінілхлоридній (далі - ПВХ) оболонці з ПВХ або гумовою ізоляцією струмопровідних жил (далі - СПЖ);

б) для стаціонарної прокладки горизонтальними і похилими виробками, проведеними під кутом до 45 град. включно, - броньовані екрановані кабелі, зміцнені стрічковою бронею у ПВХ оболонці з ПВХ або гумовою ізоляцією СПЖ. Допускається застосування раніше прокладених броньованих кабелів із стрічковою бронею з паперовою нормально просоченою ізоляцією;

в) для приєднання пересувних дільничних підстанцій і розподільних пунктів дільниць - броньовані екрановані кабелі підвищеної гнучкості та міцності;

г) для приєднання освітлювальних мереж - гнучкі екрановані кабелі;

г) для приєднання виїмкових машин на пологих пластах та прохідницьких машин - гнучкі екрановані кабелі, а на заново вводжуваних видобувних дільни-

цях та прохідницьких вибоях - гнучкі екрановані кабелі, стійкі до механічних пошкоджень і міжфазних коротких замикань;

д) для приєднання виїмкових машин на крутих пластах із застосуванням кабелеукладачів - гнучкі екрановані кабелі спеціальної конструкції підвищеної міцності;

е) для живлення ручних електросвердел - особливо гнучкий екранований кабель;

є) для стаціонарних освітлювальних мереж - броньовані екрановані або гнучкі екрановані кабелі.

Допускається приєднання стаціонарно встановлених електродвигунів до пускових апаратів гнучкими екранованими кабелями, якщо ввідні пристрої цих двигунів призначені тільки для гнучкого кабелю.

Допускається приєднання розподільних пунктів гнучкими екранованими кабелями.

Кабелі, які призначені для застосування в шахтах, мають бути стійкими до впливу полум'я і не поширювати горіння.

У горизонтальних і похилих виробках кабелі розміщуються на такій висоті, яка унеможливорює їх пошкодження рухомим транспортом.

У шахтах, небезпечних за газом, кабелі слід прокладати на такій висоті, де мало ймовірно утворення шарових скупчень метану.

18. Перша допомога при ураженні електричним струмом

Людині, яка потрапила під напругу, потребує негайної допомоги. Успіх дій, щодо порятунку потерпілого, залежить від швидкості його звільнення від струму і ефективності дій при наданні допомоги. Зволікання може призвести до смертельного результату.

Послідовність надання першої допомоги:

- звільнити потерпілого від дії електричного струму;
- оцінити стан потерпілого, визначити характер та важкість травми;

- виконати необхідні заходи з рятування потерпілого (відновити прохідність дихальних шляхів, здійснити штучне дихання, зробити зовнішній масаж серця);

- викликати швидку медичну допомогу та підтримувати основні життєві функції потерпілого до прибуття медичного працівника.

Для звільнення потерпілого від дії електричного струму необхідно за допомогою вимикачів, рубильників або іншого комутаційного апарата швидко вимкнути електроустановку, якої торкається потерпілий. Якщо це зробити неможливо, слід ужити заходів щодо звільнення потерпілого від струмовідних частин, котрих він торкається.

Звільняючи потерпілого, необхідно пам'ятати, що торкатися його незахищеними руками небезпечно. Для звільнення людини в установках напругою до 1000 В рекомендується користуватися ізолюючими предметами (діелектричні рукавички, сухий одяг, дерев'яні сухі предмети). Якщо потерпілий під напругою знаходиться на висоті, то необхідно створити умови для безпечного його падіння після звільнення від дії струму.

В установках напругою вище 1000 В при звільненні потерпілого необхідно попередньо надягти діелектричні рукавички, боти і діяти ізолюючою штангою.

Після звільнення потерпілого від дії електричного струму необхідно оцінити його стан. У всіх випадках ураження електричним струмом необхідно обов'язково викликати лікаря незалежно від стану потерпілого.

Якщо потерпілий у свідомості, але до звільнення був у непритомному стані чи тривалий час знаходився під напругою, то йому необхідно до прибуття лікаря забезпечити повний спокій. Його слід покласти на підстилку, розстебнути гудзики на одязі, який ускладнює дихання, забезпечити приплив свіжого повітря. Не можна дозволяти потерпілому рухатися, а тим більше продовжувати роботу, оскільки відсутність важких симптомів після ураження не виключає можливості подальшого погіршення стану. Лише лікар може зробити висновок про стан здоров'я потерпілого. Якщо потерпілий перебуває в непритомному

стані, дати понюхати йому нашатирний спирт, сполоснути обличчя холодною водою.

У разі відсутності дихання чи пульсу в потерпілого допомога повинна бути спрямована на відновлення життєвих функцій організму штучним шляхом. При розладі тільки органів дихання основним видом допомоги є штучне дихання.

Штучне дихання слід проводити методом «із рота в рот» чи «із рота в ніс». Цей метод забезпечує значно більший обсяг повітря, що вдувається.

Перед тим як розпочати штучне дихання способом «із рота в рот», необхідно зняти з потерпілого одяг, що заважає проведенню дихання, відкрити і звільнити від слизу рот, витягти язик, що запав у гортані, відвести голову потерпілого назад і під лопатки підкласти валик зі згорнутого одягу (рис. 20). Після цього зробити глибокий вдих, а потім вдути повітря зі свого рота в рот (чи в ніс) потерпілого через марлю чи хустку.

Щоб забезпечити надходження повітря, що вдувається через рот у легені потерпілого, необхідно пальцями закрити його ніс. Після закінчення вдування повітря необхідно ніс і рот потерпілого звільнити, щоб не заважати видиху. Видих відбувається самостійно в результаті спаду грудної клітки. Під час видиху потерпілого необхідно зробити два-три вільних глибоких вдихи, після чого знову вдути повітря в рот потерпілого. За хвилину необхідно здійснити до 10 – 12 вдувань.

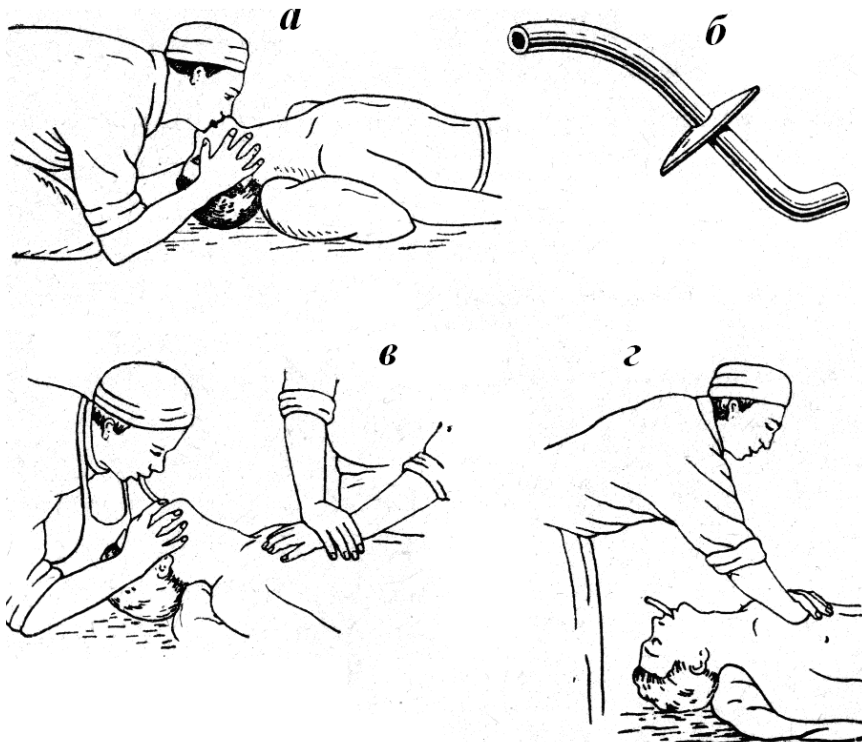


Рис. 20. Проведення штучного дихання способами «із рота в рот» і непрямого масажу серця

Штучне дихання «із рота в рот» можна робити також за допомогою спеціальної трубки, обладнаної круглим щитком, що пересувається (рис. 20, б). Трубка вводиться в рот потерпілого опуклою стороною до язика, а потім повертається на 180° . Таке положення трубки допомагає утримувати язик від западання в гортань. Щиток утримує трубку в необхідному положенні і щільно закриває рот потерпілого.

Штучне дихання варто робити доти, поки у потерпілого не відновиться власне глибоке дихання. Поява перших слабких вдихів не дає підстави для припинення штучного дихання.

Штучне дихання дозволяє відновити дихання потерпілого, якщо воно розпочате протягом перших двох хвилин після його розладу. Відсутність дихання більше трьох хвилин призводить до зупинки серця.

При зупинці серця навіть вчасно розпочате і правильно проведене штучне дихання не зможе оживити потерпілого. У цих випадках необхідно одночасно зі

штучним диханням уживати заходів для відновлення кровообігу в організмі шляхом непрямого (зовнішнього) масажу серця.

Непрямий масаж серця (рис. 20, в) варто здійснювати негайно, як тільки буде встановлений факт припинення його роботи. Для цього потерпілого кладуть спиною на тверду поверхню (підлога, лава, стіл) і звільняють грудну клітку від одягу. Людина, яка масажує, розташовується ліворуч від потерпілого і розігнуту кисть лівої руки кладе на нижню частину грудини. Долоню правої руки кладе на тильну сторону лівої кисті і натискає в напрямку хребта. Натиснення здійснюється у вигляді швидкого поштовху із силою, достатньою для стиснення грудей на 3–4 см. Після кожного натиснення руки віднімають від грудної клітки, щоб не заважати їй вільному розправленню. Після 3–4 натиснень доцільно зробити паузу на 2–3 с, після чого знову повторити 3–4 натиснення. Здійснюючи таким способом масаж серця, необхідно за хвилину зробити 50–60 натиснень.

Одночасно з непрямим масажем серця потерпілому необхідно робити і штучне дихання. При цьому тиснути на грудину не можна під час вдиху. Масаж серця і штучне дихання краще виконувати вдвох (рис. 20, в). Якщо допомогу надає одна людина, то вона стає на коліна біля голови потерпілого (рис. 20, з), робить 5–6 натиснень на грудину, потім перериває непрямий масаж серця і робить один глибокий вдув повітря у рот потерпілого. Після цього знову робить непрямий масаж серця, чергуючи його з вдуванням повітря у легені потерпілого.

Непрямий масаж серця і штучне дихання виконують до появи у потерпілого самостійного дихання і відновлення биття серця. Ознакою відновлення биття серця є поява у потерпілого пульсу.

19. Контрольні запитання

1. Охарактеризуйте дію електричного струму на людину.

2. Які місцеві електричні травми виникають унаслідок дії електричного струму на людину? Охарактеризуйте ці травми.
3. Внаслідок чого виникають електричні удари? Наслідки ударів. Що таке клінічна смерть?
4. Перелічить фактори, що впливають на тяжкість ураження електричним струмом. У чому полягає цей вплив?
5. Які граничні значення струму і як величина струму впливає на наслідки ураження людини?
6. Охарактеризуйте електричний опір тіла людини і від яких факторів він залежить.
7. Як звільнити людину з кола струму в мережах до 1000 В та вище?
8. Як виконується штучне дихання методом з рота в рот?
9. Як виконується непрямий масаж серця?
10. Наведіть класифікацію електроустановок та приміщень за небезпекою електротравм та за величиною напруги.
11. Як змінюється потенціал на поверхні землі в зоні розтікання струму?
12. Що називається напругою дотику та напругою кроку?
13. Охарактеризуйте небезпеку ураження людини електричним струмом у мережах, ізольованих від землі.
14. Охарактеризуйте небезпеку ураження людини електричним струмом у мережі з глухозаземленою нейтраллю.
15. Які основні технічні рішення з електробезпеки використовують при нормальному режимі роботи електроустановок?
16. В яких випадках застосовують малу напругу? Які джерела малої напруги можна використовувати?
17. Для чого здійснюється захисне заземлення? Як воно виконується?
18. Які електроустановки підлягають заземленню?

19. Назвіть вимоги заземлюючого пристрою та заземлюючих провідників.

20. Яке призначення занулення. Як воно виконується?

21. Назвіть вимоги до нульових захисних провідників та заземлення нейтралі у мережах з глухозаземленою нейтраллю.

22. Перелічіть обов'язки роботодавців щодо організації безпечної експлуатації електроустановок.

23. Групи робіт в електроустановках щодо організації їх безпечного виконання.

24. Вимоги безпеки до персоналу, обслуговуючого електроустановки, групи з електробезпеки, навчання та перевірка знань.

25. Як виконуються роботи в електроустановках?