

Галузь Цивільна безпека (Охорона праці)

**Дослідження заходів безпеки при експлуатації військових
електроустановок в польових умовах**

Шифр: «ЕЛЕКТРОТРАВМАТИЗМ»

2020/2021 навчальний рік

ЗМІСТ

Вступ	3
1.Охорона праці військовослужбовців при експлуатації військових електроустановок.	5
1.1 Аналіз причин військового електротравматизму в умовах бойових дій.	5
1.2 Аналіз дії струму на тіло військовослужбовця.	8
1.3 Основні фактори, які впливають на військовослужбовців внаслідок ураження електричним струмом.	11
1.4 Критерії безпеки електричного струму.....	13
2 Методика розрахунку заземлення електроустановок у польових умовах.	14
2.1 Захисні заземлюючі пристрої в польових умовах.	14
2.2 Вибір конструктивних параметрів заземлювача та оцінка струмів замикання.	15
2.3 Розрахунок заземлюючого пристрою за методикою заземлення електроустановок у польових умовах.	21
3. Розробка нових технічних рішень з безпеки військовослужбовців при експлуатації військових електроустановок в польових умовах.	25
3.1 Розробка пропозиції щодо конструкції заземлення в місцях з високим питомим опором розтікання струму в ґрунті	25
3.2 Розробка пропозиції щодо покращення конструкції заземлення.	26
ВИСНОВКИ.....	28
Список використаної літератури.....	30
Додаток А	31
Додаток Б	34
Додаток В	37

ВСТУП

Електрична енергія має особливе значення серед інших видів енергії, відомих на цей час. Це пояснюється зручністю її використання в усіх галузях народного господарства, а також у Збройних силах України. Електрична енергія дозволяє створювати комп'ютеризовані та автоматизовані системи управління комплексами озброєння, частинами і підрозділами під час підготовки та ведення бойових дій на Сході України, забезпечувати надійний зв'язок у військах, впроваджувати прогресивне обладнання та технологію.

Масова електрифікація комплексів озброєння та управління викликала появу великої кількості електроустановок, експлуатація яких вимагає від особового складу знань з охорони праці і безумовного виконання правил та заходів безпеки при експлуатації електроустановок. У зв'язку з цим питання електробезпеки набувають особливого значення.

Електробезпека – це система організаційних та технічних заходів і засобів, які забезпечують захист військовослужбовців від шкідливого та небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електричного поля та статичної електрики. Іншими словами, електробезпека для військових – це техніка безпеки при експлуатації електроустановок. Електроустановками називають установки, в яких отримується, виробляється, акумулюється, перетворюється, розподіляється, передається або споживається електрична енергія. Діючими електроустановками вважаються електроустановки або їх ділянки, які знаходяться під напругою, або на які може бути подана напруга в будь-який час вмиканням комутаційної апаратури.

Охорона праці військовослужбовців та правильна організація безпечної експлуатації електроустановок призводить до поліпшення умов виконання службово-бойових задач. Внаслідок цього рівень травматизму, у тому числі й електротравматизму електротехнічного персоналу, утримується на достатньо низькому рівні.

Аналіз нещасних випадків у військовій справі, який супроводжуються

тимчасовою втратою працездатності постраждалими, показує, що кількість травм, викликаних електричним струмом, складає 0,5 – 1 % загальної кількості від інших нещасних випадків. В електроенергетиці, де більша частина військовослужбовців пов'язана з експлуатацією військових електроустановок, питома вага електротравм в загальній кількості нещасних випадків декілька вище – 3 – 3,5 %. Більшість таких випадків (75 – 80 %) припадає на електроустановки напругою до 1000 В, менше на електроустановки напругою понад 1000 В, це пояснюється тим, що їх обслуговують, як правило, більш кваліфікований та порівняно нечисленний обслуговуючий персонал [1].

Тому **актуальність** науково-дослідницької роботи полягає у дослідженні впливу дії електричного струму на військовослужбовців, що працюють на комплексах озброєння та військової техніки, і пошуку шляхів підвищення їх безпеки при виконанні службово-бойових задач в польових умовах.

Мета науково-дослідницької роботи полягає у дослідженні електротравматизма у Збройних Силах України та розробці заходів по запобіганню нещасних випадків і підвищенню безпеки при експлуатації військових електроустановок.

Об'єкт дослідження – процес організації ефективного захисту військовослужбовців від нещасних випадків при експлуатації військових електроустановок.

Предмет дослідження полягає у поглибленому вивченні впливу електричного струму на військовослужбовців, що працюють на комплексах озброєння та військової техніки, та розробка нових технічних рішень з підвищення безпеки при експлуатації військових електроустановок в умовах ведення бойових дій.

Методи дослідження – аналітичний, розрахунковий та графічний.

1 ОХОРОНА ПРАЦІ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВІЙСЬКОВИХ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК

1.1 Аналіз причин військового електротравматизму в умовах бойових дій

Електротравма - це порушення функцій життєдіяльності живих тканин, окремих частин чи організму людини в цілому спричинена дією електричного струму чи електричної дуги. Існує також поняття „електротравматизм”.

Електротравматизм - явище, яке характеризується сукупністю електротравм, які виникають та повторюються в аналогічних службових, побутових умовах та ситуаціях [2].

Аналіз причин військового електротравматизму дозволяє їх поділяти на організаційні, технічні, психофізіологічні та санітарно-гігієнічні.

Організаційні пов’язані з порушенням законодавчих актів, вимог інструкцій, правил та наказів командування, відсутність або неякісне проведення інструктажу і навчання, невиконання заходів щодо охорони праці, несвоєчасний ремонт або заміна несправного та застарілого обладнання.

Технічні пов’язані з невідповідністю вимогам безпеки або несправністю обладнання електроустановок, інструменту і засобів захисту, а також конструктивні недоліки обладнання.

Психофізіологічні пов’язані з помилковими діями військовослужбовців внаслідок втоми, надмірної важкості та напруженості службової діяльності, нервово-психологічного перевантаження, монотонністю виконання службових обов’язків, хворобливого стану, необережності.

Санітарно-гігієнічні пов’язані з дискомфортом тривалого знаходження військовослужбовців у польових умовах, несприятливих метеорологічних умовах, порушення правил особистої гігієни, наявності електричного поля і статичної електрики та випромінювань вище допустимих значень,

надмірного рівня шуму і вібрації, підвищеного вмісту у повітрі зон шкідливих речовин.

Найбільш поширеними взаємодоповнюючими методами дослідження військового травматизму є статистичний, монографічний, економічний, психофізіологічний та ергономічний.

Сьогодні все більш уваги військове командування Операції Об'єднаних Сил (ООС) приділяє статистичному методу, якій базується на аналізі статистичного матеріалу по травматизму та загибелі військовослужбовців. Дані цього аналізу містяться в звітах штабу командування ООС, що дозволяє всі нещасні випадки і причини травматизму групувати по статі, віку, професії, стажу служби потерпілих, часу, місцю, типу нещасних випадків, характеру отриманих травм, виду зброї. Цей метод дозволяє встановити найбільш поширені види травм по окремим військовим підрозділам та частинам, уявити причини, які спричиняють найбільшу кількість нещасних випадків, виявити небезпечні місця, розробити та провести необхідні організаційно-технічні заходи.

Використання інших методів дослідження дозволяє доповнювати деталями фактичний стан бойових дій та звернути увагу на найбільш несприятливі ділянки розмежувальної лінії протистояння на Сході України.

Зупинимося в рамках цієї роботи на аналіз причин технічного електротравматизму. Сьомий рік на Сході України триває гібридна війна. Збройні Сили України при забезпеченні військових комплексів озброєння і інших цілей використовуються мережи високої напруги застосовуючи рухомі електротехнічні засоби (ЕТЗ), які отримують, виробляють, акумулюють, перетворюють, розподіляють, передають або споживають електричну енергію.

Аналіз використання автономних джерел живлення (пересувних військових електроустановок) для життєзабезпечення окремих підрозділів ЗСУ в польових умовах в ході проведення Операції Об'єднаних Сил (раніше

антитерористичної операції) свідчить про ряд проблем, пов'язаних з електрозабезпеченням при веденні бойових дій, а саме:

- знищення ЕТЗ терористичними формуваннями при їх транспортуванні та розміщенні у робочому положенні;

- виходу з ладу автономних ЕТЗ в ході їх експлуатації при міжфазному короткому замиканні; замиканнях фази - нуль; удару блискавки; механічному пошкодженні; сплесків напруги; відмови вимикача; замиканні на землю; тепловому перевантаженню; втрати синхронізації; значному зниженню частоти;

- неправильного підключення споживачів електричної енергії і як наслідок вихід з ладу кабельної мережі.

Устаткування мереж високої напруги в енергомережі України традиційно поділяється на два великі класи за рівнями напруги: 330—750 кВ і 110—220 кВ. Для прикладу, мережі напругою 110 кВ застосовуються, в основному як розподільні, практично у всіх регіонах, а вищі напруги мають певне районування: або система напруги 750/330 кВ, або 500/220 кВ.

Первинне обладнання підстанцій напругою 330 — 750 кВ, забезпечує передавання електроенергії на великі віддалі і перетворення її на напругу нижчого рівня: це системоутворювальні та магістральні лінії електропередачі (ЛЕП), шунтувальні реактори, високовольтні вимикачі, шини і шинування, автотрансформатори зв'язку.

Повітряні ЛЕП, маючи велику довжину, зазнають пошкоджень від обстрілу терористичних формувань, грозових ударів, ожеледиці, сильного вітру, забруднення ізоляторів, розгойдування дротів під впливом вітру, потрапляння на них різних предметів, що переносяться вітром, мряка яка замерзає, дощ в забрудненій зоні, гілки дерев, близькі до ліній, тощо. На будь-якій ділянці мережі, можуть виникати збої в роботі ЛЕП, такі як: пошкодження ізоляції, зіпсовані або впалі лінії електропередачі в результаті підривів або ураження снарядами, неправильна робота вимикачів, короткі

замикання і розімкнені кола. До збоїв в енергосистемі, можуть призводити хакерські кібератаки на електромережі. Пристрої захисту можуть встановлюватися задля збереження обладнання та забезпечення безперервного постачання електроенергії.

Кабельні лінії, прокладені в землі, можуть пошкоджуватися через розрив кабелю або його кріплення, погіршені умови охолодження, корозію оболонок кабелю, осідання ґрунту, а також при земляних роботах, або зловмисних дій, що проводять терористичні формування, кібератаки на електромережі з боку груп хакерів-злочинців, тощо.

Вказані, а також інші причини пошкоджень можуть викликати короткі замикання фаз між собою і на землю.

Аналіз причин таких пошкоджень повітряних та кабельних ліній електропередачі, їх усунення та експлуатація військових пересувних електроустановок впливає на працездатність і здоров'я військовослужбовців та залежать від потрапляння їх під електричні поля, статичну електрику, випромінювання вище допустимих значень або струм. В результаті військовослужбовці отримують електротравми різного ступеня тяжкості, пов'язані з виконанням службово-бойових завдань.

1.2 Аналіз дії струму на тіло військовослужбовця.

Тіло будь-якого військовослужбовця є провідником електричного струму. Однак провідність живої тканини на відміну від звичайних провідників обумовлена не тільки її фізичними властивостями, але й дуже складними біохімічними й біофізичними процесами, властивими лише живій матерії. Тіло людини можна розглядати як провідник особливого роду, що має змінний опір і володіє якоюсь мірою властивостями провідників першого роду (напівпровідники) і другого роду (електроліти).

Опір тіла військовослужбовця виявляється неоднаковим навіть у однієї людини в різний час і в різних умовах вимірювання. При сухій, чистій і

неушкодженій шкірі опір тіла, обмірюваний при напрузі до 15 - 20 В, коливається в межах приблизно $(3 - 100) \cdot 10^3$ Ом, а іноді й в більш широких межах. Якщо на ділянках шкіри, де прикладаються електроди, зіскребти роговий шар, опір тіла впаде до $(1 - 5) \cdot 10^3$ Ом, а при видаленні всього зовнішнього шару шкіри (епідермісу) – до 500 - 700 Ом. Якщо ж під електродами повністю видалити шкіру, то буде виміряний опір підшкірних тканин тіла, який у всіх людей практично однаковий й становить лише 300 - 500 Ом.

Опір тіла людини можна умовно вважати таким, що складається із трьох послідовно включених опорів (додаток А, рисунок 1.1 а,б,в): двох однакових комплексних опорів зовнішнього шару шкіри, тобто епідермісу, $2 \cdot \underline{z}_e$ і одного активного опору внутрішніх тканин тіла R_B (яке містить у собі два опори – внутрішніх шарів шкіри, тобто дерми, і підшкірних тканин тіла).

Опір епідермісу $\underline{z}_e$ складається з активного R_e , і ємнісного $x_c = 1/\omega C_e$ опорів, включених паралельно, де $\omega = 2\pi f$ – кутова частота, 1/с. Ємнісний опір обумовлений тим, що в місці дотику електрода до тіла людини утворюється немов конденсатор, обкладинками якого є електрод і тканини тіла людини, які добре проводять струм, що лежать під зовнішнім шаром шкіри, а діелектриком, що розділяє обкладки, – цей шар (епідерміс) (додаток А, рисунок 1.1, б). Як показують дослідження, ємність епідермісу C_e коливається від декількох сотень пікофарад до декількох мікрофарад.

$$\underline{z}_h = 2 \cdot \underline{z}_e + R_B = 2 \cdot \left(R_e - j \frac{1}{\omega \cdot C_e} \right) + R_B . \quad (1.1)$$

Активний опір епідермісу R_e , Ом, залежить від його питомого опору ρ_e , значення якого знаходяться у межах $10^4 - 10^5$ Ом·м, а також від площі контакту S и товщини епідермісу d_e :

$$R_e = \frac{\rho_e \cdot d_e}{S} . \quad (1.2)$$

Повний опір епідермісу $\underline{z}_e$ при площі контактів у кілька квадратних сантиметрів досягає дуже великих значень – десятків тисяч Ом.

Опір внутрішніх тканин тіла R_v вважається чисто активним. Значення R_v практично не залежить від площі електродів, частоти струму, а також від прикладеної напруги, й дорівнює приблизно 500 - 700 Ом.

При малій ємності епідермісу C_e (коли її можна прийняти рівною нулю) повний опір тіла людини $\underline{z}_h$, Ом, виявляється рівним сумі активних опорів обох шарів епідермісу й опору внутрішніх тканин тіла:

$$\underline{z}_h = 2 \cdot R_e + R_v = R_h. \quad (1.3)$$

Електричний опір залежить від таких параметрів електричного кола, як: місце прикладення електродів до тіла людини, величина струму й прикладеної напруги, рід і частота струму, площа електродів, тривалість проходження струму.

Підвищення напруги, прикладеної до тіла людини, U_d викликає зменшення в десятки разів її повного опору $\underline{z}_h$, що у межі наближається до найменшого значення опору підшкірних тканин тіла (приблизно 300 Ом) (додаток А, рисунок 1.2). Зменшення повного опору тіла людини $\underline{z}_h$ з ростом прикладеної напруги пояснюється впливом ряду факторів, у тому числі збільшенням струму, що проходить через шкіру, і пробоем рогового шару шкіри під впливом прикладеної напруги. Зростання струму, що проходить через шкіру, обумовлене у першу чергу підвищенням напруги, прикладеної до тіла людини. Вплив зростання струму на опір шкіри розглянуто раніше. Пробій рогового шару шкіри можливий, якщо напруженість виниклого в ньому електричного поля перевищує його пробивну напруженість. Це відбувається при напрузі близько 50 В и вище.

Дослідження показують, що опір тіла людини постійному струму більше, ніж змінному будь-якої частоти. Різниця в значеннях опорів постійному і змінному (50 Гц) струмам особливо велика при малих напругах

– до 10 В. З ростом прикладеної напруги ця різниця зменшується, і починаючи з 40 - 50 В опір тіла людини як постійному, так і змінному струму промислової частоти стає практично однаковим.

Площа електродів S безпосередньо впливає на повний опір тіла людини: чим більше S , тим менше z_h . З ростом частоти струму залежність повного опору тіла людини z_h від площі електродів S зменшується, і при 10 - 20 кГц вплив площі електродів припиняється повністю [1].

Тривалість протікання струму помітно впливає на опір шкіри, а отже, на z_h в цілому, внаслідок посилення із часом кровопостачання ділянок шкіри під електродами, потовиділення й інші. Дослідження показують, що при невеликих напругах (20 - 30 В) за 1 - 2 хв. опір знижується звичайно на 10 - 40% (у середньому на 25%), а іноді й більше. При більшій напрузі, а отже, при більшому струмі, опір тіла знижується швидше, що пояснюється, очевидно, більше інтенсивним впливом на шкіру струму більшого значення. Дослідження показують, що при прикладенні напруги 1600 В опір тіла людини через 50 с знижується з 800 Ом до 516 Ом, тобто на 35%.

1.3 Основні фактори, які впливають на військовослужбовців внаслідок ураження електричним струмом.

При ураженні військовослужбовця електричним струмом основним вражаючим фактором є величина струму, що проходить через його тіло. При цьому ступінь негативного впливу струму на організм військовослужбовця збільшується зі зростанням струму. Разом з тим результат ураження визначається тривалістю проходження струму, його частотою. Умовно струм поділяють на відчутний, граничний та не випускаючий. Відчутний струм починає відчувати людина коли струм проходить через нього шляхом «рука – рука» («рука – ноги»), при його величині в середньому близько 1,1 мА при змінному струмі частотою 50 Гц і близько 6 мА при постійному струмі.

Значення граничних відчутних струмів у різних військовослужбовців різні приймають рівними 50 мкА при 50 Гц і 100 мкА при постійному струмі. Невипускаючий струм викликає в людини судороги м'язів і хворобливі відчуття при 3 - 5 мА (50 Гц), а при 8 - 10 мА біль різко підсилюється й охоплює всю руку, супроводжуючись мимовільними скороченнями м'язів руки й передпліччя. Струм 25 - 50 мА при 50 Гц впливає на м'язи не тільки рук, але й тулуба, у тому числі на м'язи грудної клітки. У результаті дихальні рухи грудної клітки сильно утруднюються. У випадку тривалого впливу цього струму дихання може виявитися неможливим, після чого через кілька хвилин наступить смерть від асфіксії. Цей струм одночасно викликає звуження кровоносних судин, що приводить до підвищення артеріального тиску крові й утрудненню роботи серця. Тривалий вплив цього струму викликає ослаблення діяльності серця і як підсумок цього - втрату свідомості, а іноді й зупинку серця.

Фібриляційний струм – це струм 50 мА й більше при 50 Гц, проходячи через тіло людини тими самими шляхами («рука – рука» або «рука – ноги»), поширює свою подразнюючу дію на м'яз серця, та може наступити фібриляція або зупинка серця. При цьому припиняється кровообіг і, отже, в організмі виникає нестача кисню; це у свою чергу швидко приводить до припинення дихання, тобто наступає смерть.

Небезпека збігу моменту проходження струму через серце з фазою Т кардіоциклу полягає в наступному. Найбільш уразливе серце виявляється у фазі Т, коли закінчується скорочення шлуночків, і вони переходять у розслаблений стан. Тривалість цієї фази близько 0,2 с. Тому, якщо під час фази Т через серце проходить струм, то при деякому його значенні виникає фібриляція серця; якщо ж час проходження цього струму не збігається з фазою Т, то ймовірність виникнення фібриляції різко зменшується (додаток А, рисунок 1.5). Отже, ймовірність виникнення фібриляції серця, тобто небезпека смертельного ураження, залежить не тільки від значення

струму, але й від того, з якою фазою серцевого циклу збігається період проходження струму через область серця. Загальний характер цієї залежності виражається кривою, наведеною на рисунку 1.5, б. При тривалості проходження струму, рівній часу кардіоциклу (0,75 - 1 с) або перевищуючий його, струм «зустрічається» з усіма фазами роботи серця, у тому числі з найбільш уразливою фазою Т; це досить небезпечно для організму. Якщо ж час впливу струму менше тривалості кардіоциклу на 0,2 с або більше, то ймовірність збігу моменту проходження струму з фазою Т, а отже, і небезпека ураження, різко зменшуються.

1.4 Критерії безпеки електричного струму.

Захисні заходи й засоби захисту від ураження електричним струмом повинні створюватися з урахуванням припустимих для військовослужбовця значень струму при певній тривалості й шляху його проходження через тіло або відповідних цим струмам напруг дотику.

У цей час державними стандартами визначені гранично припустимі рівні напруг дотику й струмів для електроустановок при нормальному робочому (неаварійному) режимі їхньої роботи (додаток А, таблиця 1.1), а також при аварійних режимах виробничих (додаток А, таблиця 1.2) і побутових (додаток А, таблиця 1.3) [1]. електроустановок. Ці норми відповідають проходженню струму через тіло людини по шляху «рука – рука» або «рука – ноги».

Контроль гранично припустимих рівнів напруги дотику й струмів повинен здійснюватися вимірюванням цих величин у місцях, де може відбутися замикання електричного кола через тіло військовослужбовця.

2 МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЗАЗЕМЛЕННЯ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК В ПОЛЬОВИХ УМОВАХ

2.1 Захисні заземлюючі пристрої в польових умовах.

Захисне заземлення є простим, ефективним і поширеним способом захисту військовослужбовців, що виконують службово-бойові завдання в польових умовах, від ураження електричним струмом при дотику до металевих поверхонь ЕТЗ, які виявились під напругою. Це забезпечується зниженням різниці потенціалів між обладнанням ЕТЗ, що виявилось під напругою, і землею до безпечної величини. Використовується в трифазній трипровідній мережі з напругою до 1000 В з ізолюваною та глухозаземленою нейтраллю і вище від 1000 В — з довільним режимом нейтралі. Конструктивними елементами захисного заземлення є: заземлювачі (металеві провідники, що знаходяться в землі) і заземлювальні провідники (з'єднують обладнання, що заземлюється із заземлювачем) [3].

Захисні заземлюючі пристрої, являють собою спеціально виконане з'єднання конструктивних металевих частин електрообладнання, що нормально не знаходяться під напругою, з заземлювачами, розташованими безпосередньо в землі. Як штучні заземлювачі використовують сталеві труби довжиною 1,5 - 4 м, діаметром 25 - 50 мм, які забивають в землю, а також металеві стрижні і смуги [4].

Для досягнення необхідного опору заземлювача, як правило, використовують кілька труб (стрижнів), забитих у землю і з'єднаних там металевою (сталевою) смугою. На електричних установках напругою до 1000 В поодинокі заземлювачі з'єднують сталевою смугою товщиною не менше 4 мм і перерізом не менше 48 мм². Для зменшення екранування рекомендується поодинокі заземлювачі розташовувати на відстані не менше 2,5 - 3 м один від іншого. Контурним захисним заземленням називається

система, що складається з труб, забитих навколо комплексу військового озброєння, рядом з яким розташовані електроустановки [5].

2.2 Вибір конструктивних параметрів заземлювача та оцінка струмів замикання.

Метою даної методики є вибір конструктивних параметрів заземлювача, при яких заземлюючі пристрої задовольняють вимогам електробезпеки для особового складу військових підрозділів.

Для розрахунку заземлюючих пристроїв необхідно знати:

1) Характеристику електроустановки, для якої проводиться розрахунок заземлення (тип установки, види основного обладнання, напруга електроустановки, спосіб заземлення нейтралі трансформаторів, величину струму замикання на землю або параметри ізоляції мережі щодо землі, розміщення обладнання на плані і інші).

2) Результати вимірювання питомого опору ґрунту на ділянці, де передбачається спорудження заземлювача з урахуванням сезонності та кліматичної зони.

3) Наявність і характеристики природних заземлювачів і їх опір розтіканню струму в землі.

4) Необхідний (нормований) опір штучного заземлення.

5) Схему заземлюючих пристроїв, його технічні дані і конструктивні особливості.

Основну роль при розрахунку заземлюючих пристроїв грають струми замикання на землю або на корпус в мережах напругою 6-10 кВ. У мережах напругою 0,4 кВ струми замикання на землю малі і при розрахунку заземлюючих пристроїв не враховуються.

Розрахунок струмів однофазного замикання на землю в мережах напругою 6-10 кВ проводиться з метою вибору і настройки релейного захисту від однофазних замикань, а також для визначення величини

допустимого опору захисного заземлення. Величина струму однофазного замикання на землю в електроустановках визначається цілою низкою чинників, з яких в якості основних виділяються протяжність повітряних і кабельних ліній, а також кількість елементів підключеного електрообладнання. Крім того, струм однофазного замикання визначається наявністю заземлюючого проводу, висотою підвісу над землею фазних і заземлюючого проводів повітряних ліній, площею поперечного перерізу і відстанню між собою струмоведучих і заземлюючих провідників повітряних і кабельних ліній, типом підключених елементів електрообладнання, тобто провідністю відносно землі кожного з елементів електроустановки.

Розрахунковий струм однофазного замикання на землю, А:

$$I_z = \frac{U_\phi (35L_k + L_\phi)}{350}, \quad (2.1)$$

де U_ϕ - лінійна напруга мережі, кВ;

L_k, L_ϕ - сумарна довжина електрично пов'язаних між собою відповідно кабельних і повітряних ліній, км.

У формулі (2.1) не враховано параметри елементів електрообладнання, підключених до мережі - трансформаторів, електродвигунів, апаратів і інших. Струм однофазного замикання на землю може бути більш точно визначено за формулою, А:

$$I_z = 3U_\phi \omega (C_\phi L_\phi + C_k L_k + C_z N_z + C_{Tp} N_{Tp}) \cdot 10^{-6}, \quad (2.2)$$

де U_ϕ - фазна напруга електричної мережі, В;

C_ϕ, C_k - питома ємність на фазу по відношенню до землі 1 км повітряної і кабельної ліній, мкФ / км;

C_z, C_{Tp} - ємність відносно корпусу на фазу електроустановки (пересувні електроустановки отримують живлення за допомогою гнучких кабелів) і трансформатора, мкФ/од.;

N_3 , $N_{тр}$ - число підключених до мережі відповідно електроустановок і трансформаторів.

Розрахункові значення питомих ємностей на фазу струмоведучих жил екранованих кабелів типу КШВГ (кабель шахтний високоміцний гнучкий) наведені в таблиці 2.1 (додаток Б).

Питома ємність гнучкого кабелю, мкФ/км, в залежності від перетину його жил може бути визначена за емпіричною залежністю:

$$C_k = (2,29S + 198) 10^{-3}. \quad (2.3)$$

Ємність на фазу електроустановок та трансформаторних підстанцій, мкФ, можна визначити за формулами:

$$C_{тр} = (0,9 - 1,8) 10^{-3}, \quad (2.4)$$

$$C_{тр} = (4,1 - 4,4) 10^{-3}. \quad (2.5)$$

Питомий опір ґрунту ρ визначається шляхом вимірювань електричних параметрів ґрунту безпосередньо в місцях, де передбачається пристрій заземлювачів.

Питомий опір визначається для тих найбільш несприятливих сезонних умов, при яких електричні характеристики заземлюючих пристроїв приймають максимальні значення в результаті зміни питомої опору верхніх шарів землі.

Розрахунковий сезон відповідає найбільшим значенням питомих опорів ґрунту. Якщо вимірювання виконуються не в розрахунковий сезон, то їх результати наводяться до розрахункових сезонним умовам:

$$\rho_s = \rho K \quad (2.6)$$

де ρ_s - розрахунковий еквівалентний питомий опір, відповідне найбільш несприятливого кліматичного стану ґрунту, Омм;

K - сезонний коефіцієнт, що враховує збільшення опору ґрунту під впливом кліматичних умов (додаток Б, табл. 2). Для визначення опору

розтікання струму в землі необхідно в формули для розрахунку опорів різних заземлювачів замість ρ (з таблиці 2.3, додаток Б) підставити ρ_z .

Розрахунок заземлюючих пристроїв ведеться виходячи з нормованої допустимої величини опору заземлення, яка у найбільш віддаленій електроустановки повинна бути не більше 4 Ом.

Якщо заходи щодо підвищення ефективності заземлення, передбачені ПУЕ, не дозволяють отримати прийнятні з економічних міркувань заземлювачі, то допускається в районах з питомим опором землі в найбільш несприятливий час року більше 500 Ом м підвищувати величину допустимого опору (R_D), Ом:

$$R_D \leq \frac{4\rho_z}{500}. \quad (2.7)$$

Величина допустимого опору, Ом, заземлювального пристрою перевіряється по струму однофазного замикання на землю:

$$R_D \leq \frac{U_{np.\dot{d}on}}{K_{np} I_z}, \quad (2.8)$$

де $U_{np.\dot{d}on} = 40$ В - допустима напруга дотику;

K_{np} - коефіцієнт дотику (приймається $K_{np} = 1,0$);

I_z - розрахунковий струм однофазного замикання на землю, А.

У якості допустимої величини опору заземлювального пристрою приймається найменше значення з розрахункових по питомому опором землі і по струму однофазного замикання на землю, але не більше 40 Ом. Опір центрального заземлювача ($R_{цз}$) визначається за формулою

$$R_{цз} = R_D - R_{зн} \quad (2.9)$$

де $R_{зн}$ – опір заземлюючих провідників від центрального заземлювача до найвіддаленішого заземлюється електроприймача, Ом. Опір заземлюючих провідників від центрального заземлювача до найбільш віддаленої заземлювальної електроустановки визначається за формулою

$$R_{зн} = R_{мз} + R_{зжс} \quad (2.10)$$

де $R_{мз}$ - опір магістралі заземлення (заземлюючого проводу ВЛ), Ом;

$R_{зж}$ - опір заземлювальної жили гнучкого кабелю від магістралі до електроустановки, Ом. Опір магістрального заземлюючого проводу, прокладеного по опорах повітряних ЛЕП:

$$R_{мз} = r_{ом} l_{мз}, \quad (2.11)$$

де $r_{ом}$ - питомий активний опір проводу, Ом/км (приймається за таблицями з довідників);

$l_{мз}$ - довжина магістралі заземлення, км.

Опір заземлюючій жили гнучкого кабелю:

$$R_{зж} = r_{озж} l_{зж}, \quad (2.12)$$

$$R_{зж} = \frac{I_{зж}}{\gamma S_{зж}}, \quad (2.13)$$

де $l_{зж}$ - довжина заземлюючої жили кабелю, км (у формулі (2.13) значення $l_{зж}$ підставляється в метрах);

$r_{озж}$ - питомий активний опір заземлювальної жили кабелю, Ом/км (приймається за таблицями з довідників);

$\gamma = 53,4$ м/Ом мм² - питома провідність мідної жили;

$S_{зж}$ - перетин жили кабелю, що заземляє, мм².

Якщо зустрічаються у військовій частині є природні заземлювачі (трубопроводи і таке інше), які використовуються при влаштуванні центрального заземлення, величина необхідного опору штучного заземлювача визначається виразом:

$$R_{из} = \frac{R_e R_n}{R_e - R_{зн}}, \quad (2.14)$$

де R_e - опір розтікання струму природного заземлювача, Ом;

$R_{зн}$ - опір заземлювального пристрою, необхідний за нормою, Ом.

Опір розтікання струму трубопроводів

$$R_{TP} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{2r_0 h}, \quad (2.15)$$

де l - довжина трубопроводу, м; r_0 - зовнішній радіус трубопроводу, м;
 h - глибина закладення трубопроводу, м.

Кількість поодиноких заземлювачів (електродів) центрального заземлювального пристрою

$$n_3 = \frac{R_3}{R_{\text{из}} \eta}, \quad (2.16)$$

де R_3 - опір розтікання струму одного електрода заземлення, Ом (визначається для найбільш поширених типів заземлювачів за формулами, що наведено в табл. 4, додаток Б);

η - коефіцієнт використання електродів заземлення (вертикальних η_v (труби, куточки) і горизонтальних η_{Γ} (смуга, кругла сталь і ін.)), визначається по таблицям 2.5 - 2.8 (додаток Б).

Довжина електрода заземлювачів (труби, куточка, круглої сталі) приймається в залежності від конструкції заземлювачів. Для типових параметрів заземлювачів рекомендуються: вертикальні з кутової сталі $l = 2,5$ м, з круглої сталі діаметром $d = 12-16$ мм $l = 5$ м, з труби діаметром 40 мм $l = 3$ м. При виконанні горизонтального типу заземлювача рекомендується смуга сталь розміром 25x4 мм і 40x4 мм довжиною $l = 50$ м. При розрахунку поглиблених вертикальних заземлювачів приймають $t = 0,7$ м + $0,5l$, горизонтальних протяжних заземлювачів $t = 0,3$ м.

Довжина смуги (круглої сталі), що з'єднує окремі електроди заземлювача,

$$l = 1,05 a_3 n_3 \quad (2.17)$$

де a_3 - відстань між окремими електродами заземлювача, за умовами екранування приймають $a_3 = 5-6$ м; n - число заземлювачів заземлювального пристрою.

Опір розтікання струму центрального штучного заземлювача, що складається з вертикальних електродів, електрично пов'язаних між собою смугою, що знаходяться в контакті з землею,

$$R'_{цз} = \frac{1}{\frac{\eta_z}{R_{эз}} + \frac{n_z \eta_6}{R_{э6}}}, \quad (2.18)$$

де $R_{зг}$, $R_{эв}$ - опір відповідно одного вертикального електрода і горизонтальної смуги, Ом; η_z , η_6 - коефіцієнти використання відповідно вертикальних електродів і горизонтальної смуги (у таблицях. 5-8, Додаток Б). Загальний опір мережі заземлення до найбільш віддаленої заземлюється установки

$$R_{з.общ} - R'_{пз} + R_{мз} + R_{зж} \leq R_{д} = 4 \text{ Ом}. \quad (2.19)$$

Фактична напруга дотику у найбільш віддаленій установці, що заземлюється.

$$U_{пр.ф} = I_z K_{пр} R_z \leq U_{пр.дон} = 40 \text{ В}.$$

2.3 Розрахунок заземлюючого пристрою за методикою заземлення електроустановок у польових умовах.

ЗАВДАННЯ: На основі наведеної методика розрахунку заземлення електроустановок (п.2.1) розрахувати загальну мережу захисного заземлення з центральним заземлюючим контуром для військової рухомої електроустановки у 35/6 кВ що розташовується у польових умовах.

ВИХІДНІ ДАННІ: Тип ґрунту - глина, кліматична зона - 1. Сумарна довжина повітряних і кабельних ліній 6 кВ відповідно становить $L_n = 3,4$ км, $L_K = 2$ км. Марка кабелю, що живить найбільш віддалену від ГПП електроустановку, КГЕ 3х95 + 1х25 мм², його довжина $l_{зж} = 1$ км. В якості заземлюючого магістрального проводу ВЛ-6 кВ використовується провід АС-35. Відстань до найбільш віддаленої електроустановки $l_{мз} = 1$ км.

РІШЕННЯ:

Розрахунковий струм однофазного короткого замикання на землю, тому згідно (2.1)

$$I_z = \frac{U_{\text{л}}(35L_k + L_{\text{с}})}{350} = \frac{6(35 \cdot 2 + 3,4)}{350} = 1,26 \text{ А},$$

де $U_{\text{л}} = 6 \text{ кВ}$ - лінійна напруга мережі.

Допустимий опір мережі заземлення по току короткого замикання

$$R_{\text{д}} \leq \frac{U_{\text{пр.дон}}}{K_{\text{пр}} I_z} = \frac{40}{1,0 \cdot 1,26} = 31,75 \text{ Ом},$$

У якості допустимої величини опору заземлювального пристрою приймаємо $R_{\text{д}} \leq 4 \text{ Ом}$.

Опір магістрального заземлюючого проводу від центрального заземлювача ГПП до найбільш віддаленої електроустановки

$$R_{\text{мз}} = r_{\text{ом}} l_{\text{мз}} = 0,92 \cdot 1,0 = 0,92 \text{ Ом},$$

де $r_{\text{ом}} = 0,92 \text{ Ом/км}$ - опір одиниці довжини магістрального заземлюючого проводу АС-35, $l_{\text{мз}} = 1 \text{ км}$ - довжина проводу.

Опір заземлюючої жили кабелю електроустановки

$$R_{\text{зжс}} = \frac{I_{\text{зжс}}}{\gamma S_{\text{зжс}}} = \frac{1000}{54,3 \cdot 25} = 0,73 \text{ Ом}.$$

Опір центрального заземлювача, виходячи з умови $R_{\text{д}} \leq 4 \text{ Ом}$

$$R_{\text{цз}} = R_{\text{д}} - R_{\text{зн}} = R_{\text{д}} - (R_{\text{мз}} + R_{\text{зжс}}) = 4 - (0,92 + 0,73) = 2,35 \text{ Ом},$$

де $R_{\text{н}}$ - опір заземлюючих провідників від центрального заземлювача до найбільш віддаленої установки, що заземлюється.

Для пристрою центрального заземлювача підстанції використовуємо труби $d = 4 \text{ см}$, $l = 300 \text{ см}$. Питомий опір глини $\rho = 0,4 \times 10^4 \text{ Ом см}$. Відстань від поверхні до середини заземлювача $t = 70 + l/2 = 220 \text{ см}$.

Опір розтіканню вертикального трубчастого заземлювача, верхній кінець якого розташований нижче рівня землі,

$$R_{\text{зг}} = \frac{0,366\rho K}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{l}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right) =$$

$$= \frac{0,336 \cdot 0,4 \cdot 10^4 \cdot 1,65}{300} \left(\lg \frac{2 \cdot 300}{4} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 220 + 300}{4 \cdot 220 - 300} \right) = 18,76 \text{ Ом},$$

де $K = 1,65$ - сезонний коефіцієнт для 1-ї кліматичної зони.

Розташування вертикальних електродів приймаємо по контуру. Відстань між вертикальними трубчастими електродами приймаємо $a_3 = 6 \text{ м} = 600 \text{ см}$. Необхідна кількість електродів центрального заземлювача без урахування коефіцієнта використання

$$n_3 = \frac{R_{\text{зг}}}{R_{\text{уз}}} = \frac{18,76}{2,35} = 8 \text{ електродів}.$$

Для відносини відстані між електродами до їх довжини $\frac{a_3}{l} = \frac{600}{300} = 2$

при розташуванні електродів по контуру коефіцієнт використання вертикальних електродів (додаток Б, табл.2.6) $\eta_g = 0,7$.

Уточнена кількість трубчастих електродів буде

$$n'_3 = \frac{n_3}{\eta_g} = \frac{8}{0,7} = 12 \text{ електродів}.$$

Довжина сполучної смуги складе

$$l_n = 1,05 a_3 n'_3 = 1,05 \cdot 600 \cdot 12 = 7560 \text{ см} = 75,6 \text{ м}.$$

Ширина смуги $b = 2,5 \text{ см}$. Глибина закладення смуги від поверхні $t = 70 \text{ см}$. Сезонний коефіцієнт для 1-ї кліматичної зони для смуги $K = 5,5$. Опір розтікання струму для сполучної смуги

$$R_{\text{эз}} = \frac{0,366 \rho K}{l_n} \lg \frac{2l_n^2}{bt} =$$

$$= \frac{0,366 \cdot 0,4 \cdot 10^4 \cdot 5,5}{7560} \lg \frac{2 \cdot 7560^2}{2,5 \cdot 70} = 6,19 \text{ Ом.}$$

Коефіцієнт використання вертикальних електродів при числі електродів в контурі $n'_3 = 12$ $\eta_6 = 0,67$, коефіцієнт використання сполучної смуги $\eta_c = 0,41$. Опір центрального заземлювача з урахуванням коефіцієнтів використання вертикальних електродів і сполучної смуги

$$R'_{\text{уз}} = \frac{1}{\frac{\eta_c}{R_{\text{эз}}} + \frac{n'_3 \eta_6}{R_{\text{эб}}}} = \frac{1}{\frac{0,41}{6,19} + \frac{12 \cdot 0,67}{18,76}} = 2,02 \text{ Ом.}$$

Загальний опір мережі заземлення до найбільш віддаленої установки, що заземлюється

$$R_{\text{з.общ}} = R'_{\text{нз}} + R_{\text{мз}} + R_{\text{зж}} = 2,02 + 0,92 + 0,73 = 3,67 \text{ Ом} \leq R_{\text{д}} = 4 \text{ Ом.}$$

Тоді, фактичне напруження дотику

$$U_{\text{пр.ф}} = I_{\text{з}} K_{\text{пр}} R_{\text{з.общ}} = 1,26 \cdot 1,0 \cdot 3,67 = 4,62 \text{ В} \leq U_{\text{пр.дон}} = 40 \text{ В.}$$

Методика розрахунку заземлення електроустановок в польових умовах дуже складна, але це забезпечує зниження різниці потенціалів між обладнанням ЕТЗ, що виявилось під напругою, і землею до безпечної величини.

3 РОЗРОБКА НОВИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ З БЕЗПЕКИ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВІЙСЬКОВИХ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК

3.1 Розробка пропозиції щодо конструкції заземлення в місцях з високим питомим опором розтікання струму в ґрунті.

Прототип конструкції заземлення в місцях з високим питомим опором ґрунту викладено в [6] який дороблений з урахуванням особливостей використання її для заземлення пересувних військових електроустановок в Збройних Силах України.

Одним з способів досягнення нормативних значень опору заземлювального пристрою в місцях з високим питомим опором розтікання струму є зниження питомого опору ґрунту за рахунок використання електролітичного заземлювача, в основі якого лежить обробка ґрунту навколо електрода сіллю, яка не збільшує корозію сталі, що дозволяє знизити опір розтікання струму заземлювача приблизно в 2,5 – 8 раз. Нова конструкція котловану при обробці ґрунту сіллю показана на рисунку 3.1 (додаток В).

Роботи пропонується виконувати в наступній послідовності:

- а) в місцях, де повинен бути забитий електрод, відкопати котлован глибиною 2,5 м, круглий діаметром від 0,8 до 1,0 м, або квадратний 1,0 м на 1,0 м;
- б) в котлован виложити послідовно шари ґрунту і вдвічі тонші шари солі;
- в) змочуючи сіль водою, щільно утрамбовувати;
- г) застосовувати потрібно сіль, що не збільшує корозію сталі, наприклад, нітрат натрію, гідрат оксиду кальцію; забороняється застосовувати хлористий натрій, хлористий кальцій, купорос тощо;
- д) траншею для з'єднування смуги сіллю не обробляти.

Іншим способом зниження опору розтікання струму є установка

електроду в насипний ґрунт. Для цього необхідно (додаток В, рисунок 3.2):

а) для кожного електроду відкопати котлован радіусом від 1,5 до 2,5 м і глибиною, яка перевищує довжину заземлювача на 0,8 м.

б) після установки заземлювача (кутка, труби) заповнити котлован ґрунтом з невеликим питомим опором і ґрунт затрамбувати.

При влаштуванні багатоелектродного контуру електроди слід з'єднувати після неповної засипки котловану. В якості ґрунту – заповнювача можна застосовувати будь-який ґрунт, що має питомий опір в 5 – 10 разів менший питомого опору основного ґрунту.

В піщаному або кам'янистому ґрунтах заповнювачем можна брати глину, торф, чорнозем, суглинок, шлак, коксовий дріб'язок тощо.

У таких способів є істотні негативні сторони:

1. Сіль викликає достатньо сильну корозію сталевого електрода. Тому такий заземлюючий пристрій служить не більше 3-5 років.

2. Через те, що необхідно замінити істотний об'єм ґрунту, вартість таких робіт дуже висока. У скельному й іншому подібному ґрунтах такі роботи часто нездійсненні.

3.2 Розробка пропозиції щодо покращення конструкції заземлення.

Найбільш простий шлях рішення поставленого завдання складається в спільному застосуванні зазначених вище способів, а саме: використовувати порожній електрод (наприклад, трубу), заправлений мінеральною сіллю, установивши його в замінений ґрунт. У трубі повинні бути виконані отвори по всій довжині. Труба заповнюється сумішшю мінеральних солей, які повільно проникають у навколишній ґрунт крізь отвори в стінках. Солі, припадаючи в навколишній ґрунт, підвищують його електропровідність. При цьому вони не викликають прискорення корозії матеріалів електрода за рахунок нейтрального рН і не перетворюються в електроліт всім об'ємом за рахунок спеціальної добавки, що сповільнює цей процес.

Для покращення довговічності пристрою заземлення пропонується у якості електродів заземлювачів використовувати мідні труби у вигляді перевернутої букви «Т» з перфорацією по всій довжині, заповненої сумішшю мінеральних солей, (додаток В, рисунок 3.3) зі сполучним провідником $S = 70 \text{ мм}^2$, привареним до труби, і заповнювач навколо електродний – ґрунтова добавка з низьким питомим опором ($0,3 - 0,8 \text{ Ом} \cdot \text{м}$) на основі відпаленої глини й графіту, що збільшує площу зіткнення з навколишнім ґрунтом. Відпалена глина ефективно убирає вологу, віддаючи її після цього електроду, дозволяючи суміші солей, що перебуває в ній, перетворюватися в електроліт.

Крім цього, у заземлення додати колодязь для обслуговування зі скловолокна, призначений для установки над вертикальною частиною електрода, призначений для полегшення обслуговування електрода, проведення вимірювання його параметрів, універсальний латунний затискач із болтами М10 і латунною прокладкою для з'єднання провідника заземлюючого пристрою з контактним провідником електрода й стрічка гідроізоляційна, котра захищає з'єднання різних металів від ґрунтової й електролітичної корозії шляхом повного витиснення вологи від місця з'єднання.

Заміна ґрунту навколо електрода на матеріал з високою електропровідністю зменшує початковий опір електрода розтіканню струму в землі й утримує навколишню вологу. Термін служби електрода становить не менш 50 років. Практична реалізація, запропонованих способів дає можливість вигідно зменшити опір заземлення, особливо в тих місцях, де установка монтаж контуру заземлення традиційними способами вимагає великих витрат для отримання потрібного опору.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз причин військового електротравматизму при експлуатації електротехнічних засобів в період ведення бойових дій, та причин пошкоджень повітряних та кабельних ліній електропередачі.

2. Розглянуто дію струму на опір тіла військовослужбовця при впливі різних факторів. Проаналізовано основні фактори впливу внаслідок ураження військовослужбовця електричним струмом та критерії безпеки електричного струму.

3. У якості технічного забезпечення підвищення безпеки військовослужбовця від ураження електричним струмом запропонована методика розрахунку заземлення електроустановок в польових умовах.

4. Проведено математичний розрахунок заземлюючих пристроїв для рухомих військових електроустановок в польових умовах за запропонованою методикою заземлення.

5. В результаті виконання досліджень, запропоновано пропозицію істотного зменшення опору заземлення в ґрунтах з високим питомим опором. Практична реалізація, запропонованих способів дає можливість вигідно зменшити опір заземлення, в тих місцях, де установка монтаж контуру заземлення традиційними способами вимагає великих витрат для отримання потрібного опору.

Наукова новизна дослідницької роботи полягає в одержанні нових результатів при:

1. Аналізі особливостей дії струму на військовослужбовців при виконанні службово-бойових задач на комплексах озброєння та військової техніки.

2. Дослідженні ефективній організації безпечної експлуатації військових систем електроустановок.

3. Розробці нових технічних рішень з підвищення безпеки військовослужбовців при експлуатації військових електроустановок в польових умовах.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій полягає у прийнятті обґрунтованих допущень та задовільному збігу результатів розрахунків з даними наведеними в науковій літературі.

Теоретичне значення науково-дослідницької роботи полягає у

- розробці критеріїв безпеки електричного струму, що впливає на військовослужбовців в процесі виконання ними службово-бойових завдань

- подальшому розвитку нових технічних рішень з охорони праці та безпеки військовослужбовців при експлуатації військових електроустановок в польових умовах ведення бойових дій.

Практичне значення науково-дослідницької роботи полягає

- в розробці пропозиції щодо покращення конструкції заземлення в місцях з високим питомим опором розтікання струму в ґрунті.

- підвищенні електробезпеки серед особового складу військових підрозділів що працюють на комплексах озброєння та військової техніки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Основи електробезпеки та енергонагляду. Б. Т. Кононов, Г. І. Лагутін, А. М. Панченко, О. В. Степанюк. – Харків: ХУПС, 2012.
2. Основи охорони праці. Навчальний посібник/ Ю. О. Кусакін, В. М. Уваров, В. О. Табуненко, С. М. Хабоша. – Харків: ХНУПС, 2021. – 240 с.
3. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D1%85%D0%B8%D1%81%D0%BD%D0%B5_%D0%B7%D0%B0%D0%B7%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F
4. <https://electric-in-home.com/grounding-protective-conductors/>
5. <https://narfu.ru/university/library/books/0616.pdf> Расчёт заземляющего устройства
6. Лагутін Г.І., Коновалов О.В. Конструкція заземлення в місцях з високим питомим опором розтікання струму в ґрунті. – Харків: ХУПС, Збірник наукових праць Вип.1(23), 2010. - С.150-152.

ДОДАТОК А

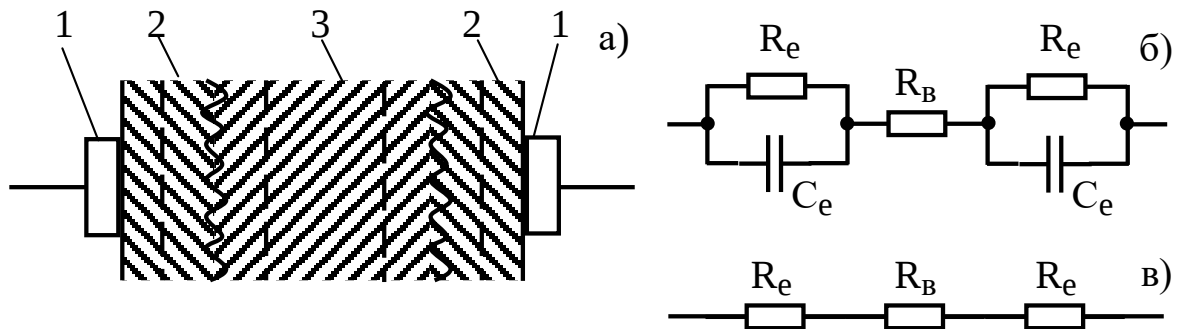


Рисунок 1.1 – До визначення електричного опору тіла людини:

а – схема вимірювання опору; б – еквівалентна схема опору тіла людини;

в – спрощена еквівалентна схема; 1 – електроди; 2 – зовнішній шар шкіри (епідерміс); 3 – внутрішні тканини тіла (внутрішні шари шкіри й підшкірних тканин); R_B – опір внутрішніх тканин; R_e – активний опір епідермісу; C_e – ємність епідермісу

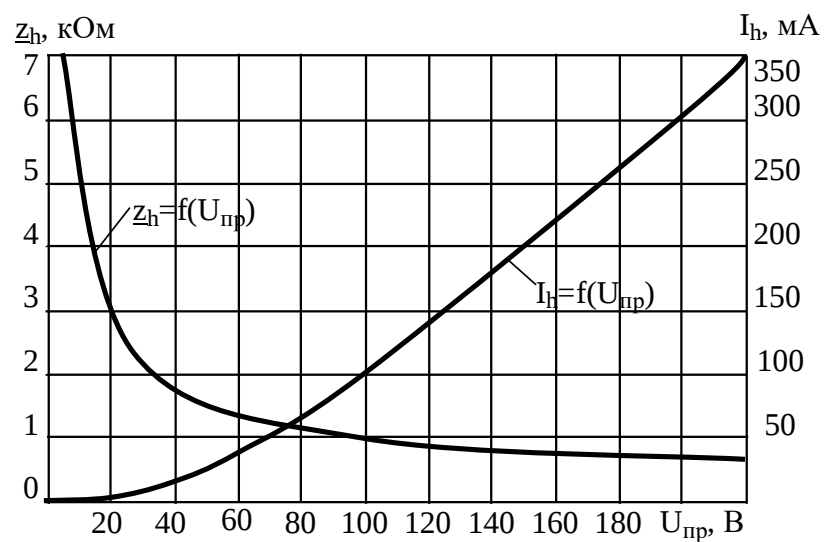


Рисунок 1.2. Залежність опору тіла людини й струму, що протікає через нього, від прикладеної напруги.

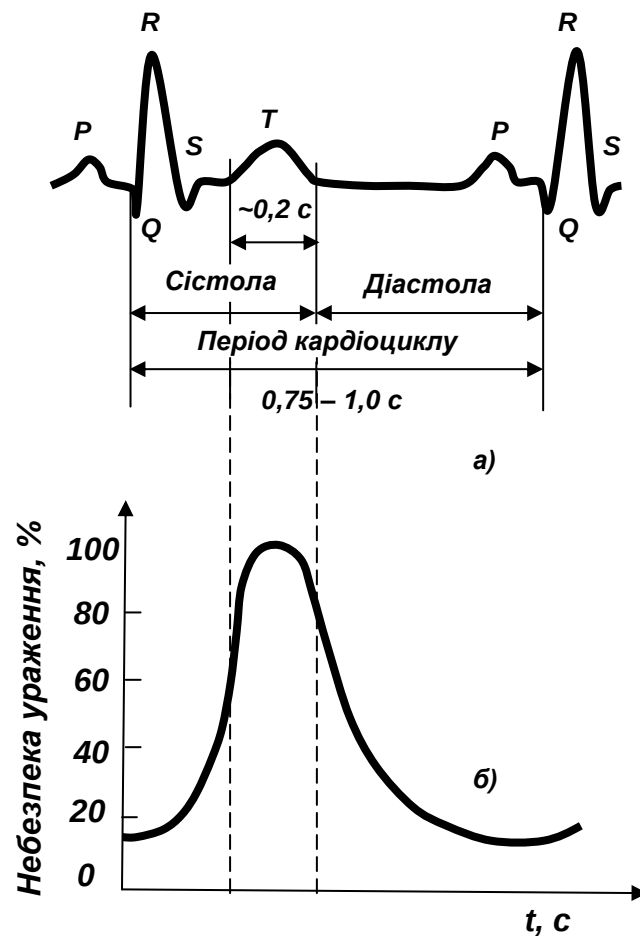


Рисунок 1.5. – Залежність небезпеки ураження від збігу часу протікання струму через серце з фазою T кардіоциклу: a – електрокардіограма здорової людини (у схематизованому вигляді); $б$ — залежність небезпеки ураження від моменту протікання струму через серце

Таблиця 1.1 - Найбільші допустимі напруги дотику U_d і струми I_h , що протікають через людину при нормальному (неаварійному) режимі роботи електроустановки

Рід і частота струму	Найбільші припустимі значення	
	$U_d, В$	$I_h, мА$
Перемінний, 50 Гц	2,0	0,3
Перемінний, 400 Гц	3,0	0,4
Постійний	8,0	1,0

Таблиця 1.2. - Найбільші допустимі напруги дотику U_d і струми I_h , що протікають через людину при аварійному режимі виробничих електроустановок напругою до 1000 В з глухозаземленою або ізольованою нейтраллю й вище 1000 В з ізольованою нейтраллю.

Рід і частота струму	Нормована величина	Тривалість впливу t, с						
		0,01-0,08	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	Більше 1,0
Перемінний, 50 Гц	U_d , В	650	250	125	85	65	50	36
	I_h , мА	650	250	125	85	65	50	6
Перемінний, 400 Гц	U_d , В	650	500	250	170	130	100	36
	I_h , мА	650	500	250	170	130	100	8
Постійний	U_d , В	650	400	300	240	220	200	40
	I_h , мА	650	400	300	240	220	200	15

Таблиця 1.3 - Найбільші допустимі напруги дотику U_d і струми I_h , що протікають через людину при аварійному режимі побутових електроустановок напругою до 1000 В и частотою 50 Гц

Нормована величина	Тривалість впливу t, с											
	0,01-0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	Більше 1,0
U_d , В	220	200	100	70	55	50	40	35	30	27	25	12
I_h , мА	220	200	100	70	55	50	40	35	30	27	25	2

Додаток Б

Таблиця 2.1 -Розрахункові значення ємностей

Переріз кабелю КШВГ, мм ²	Ємність силовий жили до екрану, мкФ/км	Переріз кабелю КШВГ, мм ²	Ємність силовий жили до екрану, мкФ/км
3х10+1х6	0,172-0,226	3х70+1х16	0,235-0,429
3х16+1х6	0,202-0,258	3х95 + 1х25	0,366-0,463
3х25+1х10	0,227-0,288	3х120+1х35	0,419-0,526
3х35+1х10	0,262-0,333	3х150+1х35	0,439-0,587
3х50+1х16	0,286-0,382	-	-

Таблиця 2.2 -Ознаки кліматичних зон і наближені значення сезонних коефіцієнтів К

Характеристика кліматичної зони і тип застосовуваних електродів	Сезонний коефіцієнт К в кліматичній зоні			
	1	2	3	4
Середня багаторічна температура повітря, ° С:				
нижча (січень)	-20...-15	-14...-10	-10...0	0...5
вища (липень)	16...18	18...22	22...24	24...26
Середньорічна кількість опадів, см				
Тривалість замерзання води, днів	~40	~50	~50	30...50
Поправочний сезонний коефіцієнт величини ρ :	190... 170	~150	~100	0
а) стрижневі електроди (куточки, труби) довжиною 2-3 м при глибині закладення їх вершини 0,5-0,8 м	1,65	1,45	1,3	1,1
б) протяжні заземлювачі (смуга, кругла сталь) довжиною 10 м і більше.	5,5	3,5	2,5	1,5

Таблиця 2.3 -Залежність питомого опору від типу ґрунту

Ґрунт	Питомий опір ρ Ом•см	Ґрунт	Питомий опір ρ Ом•см
Пісок	(4-7) 10^4	Пісковик	(2-3,5) $\cdot 10^6$
Супісок річковий	$3 \cdot 10^4$	Вугілля буре	(4,5-5) $\cdot 10^6$
Кам'яниста глина	(1-2) 10^4	Вуглистий сланець	(1-1,5) $\cdot 10^6$
Суглинок	(0,8-1,0) 10^4	Вугілля	$2,5 \cdot 10^6$
Глина	(0,4-0,6) 10^4	разубожений	(1,9-2,2) $\cdot 10^4$
Чорнозем	(0,5-2) 10^4	Аргіліти	(0,5-0,8) $\cdot 10^4$
Торф	$0,2 \cdot 10^4$	Алевроліти	$5 \cdot 10^7$
Лес	$2,5 \cdot 10^4$	Вапняк	$2,07 \cdot 10^7$
Садова земля	$0,4 \cdot 10^4$	Граніт	

Таблиця 2.4 - Опір розтіканню одиночних електродів заземлювачів, Ом

Заземлювач	Розрахункова формула
Вертикальний електрод з круглої арматурної сталі або труби. Верхній кінець нижче рівня землі.	$R_{\text{зг}} = \frac{0,366\rho}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{l}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right)$
Вертикальний електрод з кутової сталі. Верхній кінець нижче рівня землі.	$R_{\text{зг}} = \frac{0,366\rho}{l} \left(\lg \frac{2l}{0,95b} + \frac{l}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right)$
Вертикальний електрод з круглої арматурної сталі або труби. Верхній кінець над рівнем землі.	$R_{\text{зг}} = \frac{0,366\rho}{l} \lg \frac{4l}{d}$
Горизонтальний електрод з круглої арматурної сталі або труби.	$R_{\text{зг}} = \frac{0,366\rho}{l} \lg \frac{l^2}{dt}$
Горизонтальний електрод зі смугової сталі	$R_{\text{зг}} = \frac{0,366\rho}{l_n} \lg \frac{2l_n^2}{bt}$

Де ρ - питомий опір ґрунту, Ом•м; l - довжина електрода, м; d - зовнішній діаметр електрода, м; t - глибина закладення (відстань від поверхні землі до середини електрода), м; b - ширина смугового електрода (для кутової сталі - ширина боку), м; l_n - довжина смуги, м.

Таблиця 2.5. Коефіцієнт використання вертикальних електродів з кутової сталі або труб, розміщених в ряд (без урахування впливу лінії зв'язку)

Число електродів	η_g , при відношенні відстані між електродами до довжини електрода		
	1	2	3
2	0,87	0,92	0,95
3	0,80	0,88	0,92
4	0,72	0,83	0,88
10	0,62	0,77	0,83
15	0,56	0,73	0,80
20	0,50	0,70	0,70

Таблиця 2.6 -Коефіцієнт використання вертикальних електродів з кутової сталі або труб, розміщених по контуру (без урахування впливу лінії зв'язку)

Число електродів	η_e , при відношенні відстані між електродами до довжини електрода		
	1	2	3
4	0,70	0,78	0,85
6	0,62	0,63	0,80
10	0,55	0,68	0,76
20	0,47	0,64	0,70
40	0,42	0,58	0,67
60	0,39	0,55	0,65
100	0,36	0,52	0,62

Таблиця 2.7 -Коефіцієнт використання сполучної смуги в ряду електродів з кутової сталі або труб

Відношення відстані між електродами до довжини електрода	η_c при числі електродів в ряду			
	4	10	20	30
1	0,77	0,62	0,42	0,31
2	0,89	0,75	0,56	0,46
3	0,92	0,82	0,68	0,58

Таблиця 2.8 -Коефіцієнт використання сполучної смуги в контурі електродів з кутової сталі або труб

Отношение расстояния между электродами к длине электрода	η_c при числі електродів у контурі					
	4	10	20	30	50	70
1	0,45	0,34	0,27	0,24	0,21	0,20
2	0,50	0,40	0,42	0,30	0,28	0,26
3	0,70	0,56	0,45	0,41	0,37	0,35

Додаток В

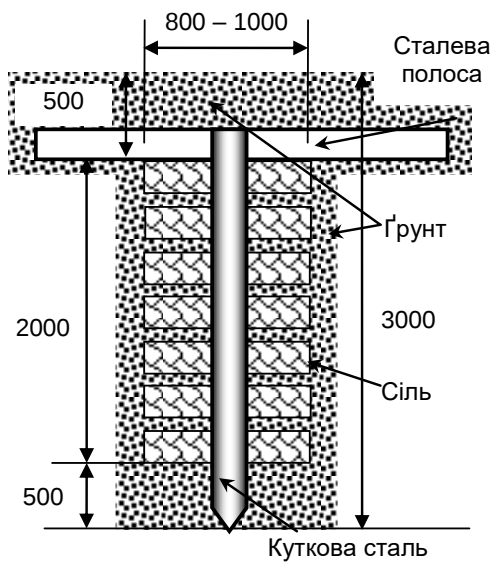


Рисунок -3.1. Конструкція котловану при обробці ґрунту сіллю для установки заземлювача з куткової сталі

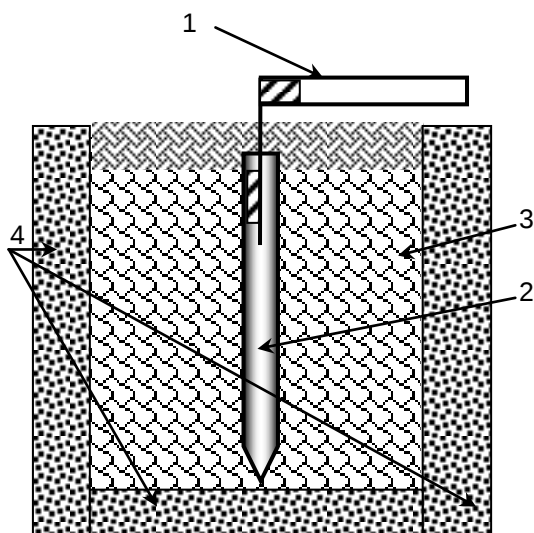


Рисунок - 3.2. Пристрій заземлення в ґрунті з високим питомим опором:
1 – заземлювальна шина; 2 – заземлювач; 3 – насипний ґрунт; 4 – основний ґрунт.

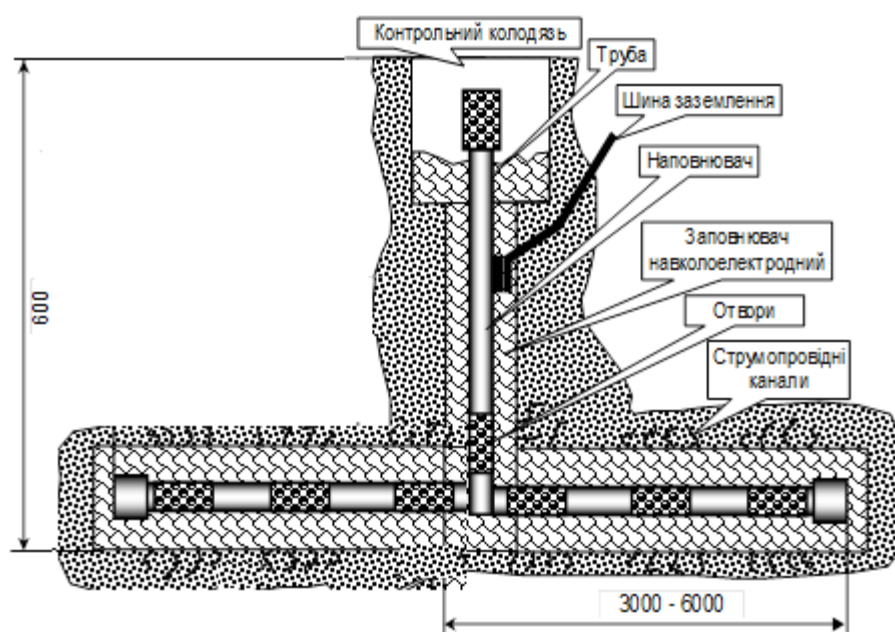


Рисунок 3.3 - Конструкція заземлення з сумішшю мінеральних солей.