

**В. С. Собчук, Н. В. Собчук**

# **ТЕХНОЛОГІЇ РОБІТ ПІД НАПРУГОЮ**

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

В. С. Собчук, Н. В. Собчук

## **ТЕХНОЛОГІЇ РОБІТ ПІД НАПРУГОЮ**

Затверджено Вченою радою Вінницького національного технічного університету як навчальний посібник для студентів напрямку підготовки 7.090602 – “Електричні системи і мережі”. Протокол № 7 від 26 січня 2006р.

Вінниця ВНТУ 2006

*Рецензенти:*

*А.О. Новиков*, доктор технічних наук, професор  
*П.Д. Лежнюк*, доктор технічних наук, професор  
*В.І. Нагул*, кандидат технічних наук, доцент

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

**Собчук В.С., Собчук Н.В.**

**С55 Технології робіт під напругою.** Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 101 с.

В посібнику розглянуті основні технології виконання ремонтів повітряних ліній електропередачі всіх класів напруги. Проаналізовані небезпечні фактори в зоні впливу, де відбуваються роботи, організаційні і технічні заходи та засоби, які забезпечують людині нормальні умови праці. Посібник розроблений у відповідності з планом кафедри та програмою дисципліни “Технології робіт під напругою”.

УДК 621.315

## Зміст

	ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	5
	ВСТУП.....	6
1	ІЗОЛЯЦІЙНІ ПРОБЛЕМИ РЕМОНТІВ ПІД НАПРУГОЮ	8
1.1	Способи виконання робіт під напругою .....	8
1.2	Підіймання на опори та переміщення по них при виконанні робіт під напругою .....	9
1.3	Допустимі відстані наближення до струмопровідних частин і вимоги до інструментів та обладнання при роботах під напругою .....	10
1.4	Координація параметрів ізоляції лінії електропередачі в місці виконання робіт під напругою .....	20
1.5	Координація випробувальної напруги з характеристиками оснастки для виконання робіт під напругою .....	23
1.6	Умови виконання робіт під напругою	25
	Контрольні запитання.....	26
2	ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ В МІСЦІ ВИКОНАННЯ РОБІТ ПІД НАПРУГОЮ .....	27
2.1	Екологічні аспекти передавання електроенергії .....	27
2.2	Безпосередній вплив електричного поля на людину .....	29
2.3	Розрахунок напруженості електричного поля в зоні впливу ЛЕП .....	30
2.4	Вплив на людину електричних розрядів в місці виконання робіт під напругою .....	37
2.5	Аналіз напруг дотику і кроку.....	41
2.6	Корона і її вплив на висотного електромонтера, який працює в ній.....	43
2.7	Вплив електромагнітного поля електропередачі на людей, тваринний і рослинний світ.....	46
	Контрольні запитання.....	51
3	ЗАСОБИ І ЗАХОДИ ЗАХИСТУ ЛЮДИНИ В МІСЦІ ВИКОНАННЯ РОБІТ ПІД НАПРУГОЮ .....	52
3.1	Засоби захисту людини від шкідливого впливу електричного поля .....	52
3.2	Екранувальні комплекти спецодягу для виконання робіт в електроустановках під напругою 220–750 кВ .....	52
3.2.1	Захисний комплект типу КЕ-ВРН .....	54
3.2.2	Спрощений екранувальний комплект типу КСЕ для ВРН....	58
3.3	Запобіжні монтерські пояси .....	60
3.4	Захисні каски .....	61
3.5	Діелектричні боти та калоші.....	61
	Контрольні запитання.....	61

4	ОСНАСТКА ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБІТ ПІД НАПРУГОЮ...	62
4.1	Ізолятори полімерні .....	62
4.2	Канати ізолювальні поліпропіленові .....	64
4.3	Штанги переносу потенціалу .....	66
4.4	Стілець монтерський .....	68
	Контрольні запитання .....	98
	ЛІТЕРАТУРА.....	99

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АПВ – автоматичне повторне вмикання;
- ВРН – виконання робіт під напругою;
- ВРП – відкритий розподільчий пристрій;
- ЕК – екранувальний комплект;
- ЕП – електричне поле;
- ЛЕП – лінія електропередачі;
- НЕП – напруженість електричного поля;
- НРІ – нормальний рівень ізоляції;
- ОКЗ – однофазне коротке замикання;
- ПЛ – повітряна лінія;
- ПЛЕП – повітряна лінія електропередачі;
- РЗ і А – релейний захист і автоматика

## ВСТУП

Необхідність підготовки цього навчального посібника обумовлена відсутністю підручників і посібників з дисципліни "Технологія робіт під напругою", яка є однією з дисциплін інженерного циклу зі спеціальностей 7.090601 та 7.090602.

Ремонти під високою напругою є можливими завдяки створенню засобів і пристроїв електробезпеки перебування людини в зоні впливу електромагнітного поля ЛЕП.

Це, перш за все, екранувальний комплект, всередині якого напруженість електричного поля не перевищує медичних норм, і ємнісні струми є безпечними для здоров'я людини.

Ремонт електрообладнання під напругою дозволяє працювати електричним системам і мережам в усталеному оптимальному режимі, дозволяє оптимально планувати проведення ремонтів з урахуванням всіх дестабілізуючих факторів при експлуатації.

Під час підготовки цього навчального посібника відповідно до робочої програми дисципліни "Технологія робіт під напругою" авторами скорочено матеріал, який достатньою мірою подано при вивченні попередніх дисциплін (наприклад, ЕТМ; ТОЕ; ТЕФВН).

Перший розділ НП "Технологія робіт під напругою" присвячений розгляду електромагнітного поля ПЛЕП промислової частоти, характеристикам зон впливу на людину.

Ефект дії електромагнітного поля на людину можна визначити кількістю електромагнітної енергії, яку тіло людини поглинає за час перебування в зоні впливу. Відомо, що при малих частотах змінного електромагнітного поля (наприклад, 50 Гц), електричне і магнітне поля практично не пов'язані між собою, тому для ПЛІ і ВРП їх допускається аналізувати окремо одне від одного, а також розглядати окремо впливи, які вони здійснюють на людину.

Розрахунки кількості енергії електричного поля, яку поглинає тіло людини на частоті 50 Гц, показали, що вона в 50 разів більша, порівняно з енергією магнітного поля.

Це дає змогу нехтувати впливом останнього в більшості випадків.

Гігієнічні норми тривалості перебування людини в зоні впливу ПЛЕП та ВРУ обернено пропорційні  $E^2$ .

Розрахунок напруженості електричного поля в зоні впливу ЛЕП проілюстрований на прикладі трифазної лінії з горизонтальним розташуванням проводів.

Другий розділ НП присвячений методам та засобам захисту людини від дії сильного електромагнітного поля. Найбільш сучасним і ефективним засобом індивідуального захисту людини є екранувальний комплект спеодягу (КЕ). Такий комплект створює навколо людини щільний екранувальний об'єм і забезпечує, практично, повний захист людського

організму від несприятливого впливу електричного поля. За нормований параметр приймається допустима напруженість електричного поля на поверхні тіла людини.

Захисні властивості КЕ характеризуються коефіцієнтом екранування за напруженістю електричного поля  $K_E$  та за струмом зсуву  $K_I$ .

Екранівні пристрої (екрани), в залежності від їх конструкції і розмірів, а також від місця і умов розміщення, можуть слугувати індивідуальними або колективними засобами захисту людей від шкідливого впливу електричного поля під час роботи в діючих електротехнічних установках промислової частоти.

Третій розділ присвячений принципу виконання робіт під напругою.

В основу методу роботи, з безпосереднім виходом людини на фазний провід під робочою напругою, покладено принцип ізоляції людини від землі і частин з іншим потенціалом. Описано принцип обмеження смісного струму в іскровому розряді в момент перенесення потенціалу проводу на монтерський стілець. Обмеження усталеного струму виконують КЕ і екрани.

В четвертому розділі розглянуто конкретні технології ВРН на ЛЕП 330-750 кВ.

# 1 ІЗОЛЯЦІЙНІ ПРОБЛЕМИ РЕМОНТІВ ПІД НАПРУГОЮ

## 1.1 Способи виконання робіт під напругою

До робіт під напругою відносять усі види діяльності персоналу з обслуговування електроустановок, при яких працюючі, що знаходяться на потенціалі «землі», у зв'язку з виробничою необхідністю, торкаються за допомогою ізолювальних пристроїв струмопровідних частин, які знаходяться під напругою; а працюючі, які ізольовані від «землі», торкаються, безпосередньо, тілом або інструментами чи пристроями частин електроустановок, що знаходяться під напругою; або при яких має місце наближення працюючих до частин, що знаходяться під напругою, на відстанях, які є меншими за допустимі правилами [1].

Способи ВРН є такі: за схемою «земля» - людина - ізоляція - струмопровідні частини електроустановки і за схемою «земля» - ізоляція - людина - струмопровідні частини електроустановки.

При виконанні робіт першим способом працюючий може знаходитися на стояку опори, конструкції розподільчого пристрою, підніматися до струмопровідних частин електроустановок за допомогою підйомників без ізолювальної ланки або виконувати роботи безпосередньо з землі. Але в будь-якому випадку між працюючим та частинами електроустановки, що знаходиться під напругою, має бути ізоляція, рівень якої визначається номінальною напругою електроустановки. При виконанні робіт за другою схемою, як правило, використовують ізоляцію у вигляді діелектричних рукавичок, захисних накладок та коробів, в результаті цього роботи фактично проводяться за схемою: «земля» - ізоляція - людина - ізоляція - струмопровідні частини електроустановки. В обох випадках має бути забезпечена ізоляція працюючого від «землі», для цього використовують ізолювальні драбини, підйомники з ізолювальною ланкою або інші способи доставки людини до струмопровідних частин. Необхідний рівень ізоляції забезпечується дотриманням допустимих відстаней наближення працюючого до струмопровідних частин при роботі з «землі», а також при роботі безпосередньо на струмопровідних частинах з використанням спеціальних ізолювальних інструментів та пристроїв.

Таким чином, ми бачимо, що головним у ВРН, при забезпеченні захисту персоналу, є створення необхідного рівня ізоляції повітряних проміжків і пристроїв, які використовуються при роботі. Необхідний рівень ізоляції повітряних проміжків потрібно забезпечувати, незважаючи на зменшення їх присутності людини та інструментів і незалежно від того, де знаходиться людина: на «землі» або поблизу струмопровідних частин. При ВРН, як правило, зменшується відстань у повітрі між

струмопровідними частинами та «землею», тому необхідно строго регламентувати ці відстані в схемах виконання робіт.

Необхідний рівень ізоляції пристроїв, які використовуються при ВРН, має забезпечуватися довжиною струму витоку по поверхні, що відповідає напрузі електроустановок, і станом цих поверхонь: вони повинні бути чистими й сухими.

В Україні технології виконання робіт під напругою розробляються відповідними підприємствами. Після всесторонніх випробувань кожного виду робіт випускаються необхідна технологічна оснастка, інструкція і технологічні карти на виконання робіт, які затверджуються у встановленому порядку. Тільки після цього проводиться впровадження методів ремонту в умовах експлуатації.

## **1.2 Підіймання на опори та переміщення по них при виконанні робіт під напругою**

Слабким місцем ізоляції ПЛ є гірлянди ізоляторів, тому більшість ремонтів, які виконуються під напругою, пов'язані з підійманням на опори і металоконструкції ліній електропередачі. Нашою промисловістю розроблені на базі автомобілів і випускаються серійно вежі та гідропідіймники висотою підіймання 12 м, 15 м, 16 – 22 м, 26 м, 35 м та ряд інших. Вони покращують умови праці електромонтерів, особливо при необхідності виконання робіт на дефектних опорах ПЛ.

За допомогою вежі і підіймників здійснюється підіймання електромонтера як на траверсу опори, так і до проводів. При ВРН ефективно використовуються вежі і гідропідіймники з ізолювальною вставкою, розрахованою на номінальну напругу електроустановки.

При проляганні ПЛ по полях із цінними сільськогосподарськими культурами, по городах і садах використання автовішок не завжди зручне. Використання спеціальної оснастки дозволяє ВРН ПЛ майже цілий рік з мінімальними пошкодженнями земельних угідь і посівів.

Для підіймання на залізобетонні циліндричні і конусоподібні опори ліній електропередач напругою 35 – 750 кВ використовують спеціальні монтерські лази та переносні драбини, які кріпляться до стояка опори.

На ЛЕП напругою 220 – 750 кВ електромонтер піднімається до потенціалу проводу способом «ліфта», розробленому спеціалістами Міненерго України [2] рис.1.1. Електромонтер, піднявшись на траверсу опори, закріплює ізолювальні канати через систему блоків 1. Низові електромонтери кріплять до опори спеціальну лебідку 6 і систему страхівки 5, приєднують ізолювальні канати 4 до монтерського стільця 2. Електромонтер опускається і в скранувальному комплекті сідає на монтерський стілець 3. За допомогою лебідки низові електромонтери підіймають його до проводу.

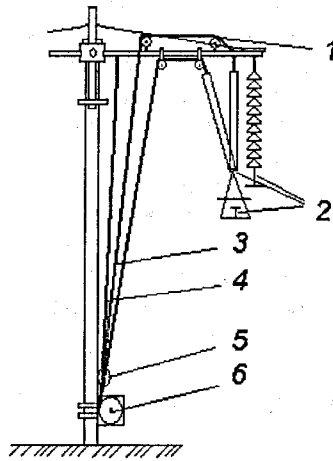


Рисунок 1.1 – “Ліфтова” схема підняття електрика на траверсу опори

Особлива увага має приділятися страхуванню людини від можливого падіння при піднятті на опору і переміщенні по ній. Одним із широко поширених засобів страхівки є використання монтерського пояса з одним або двома капроновими фалами.

Якщо необхідно віддалитися від конструкції на відстань, більшу від довжини фала (наприклад, спуститися з траверси), застосовують подовжувач, розрахований на необхідне навантаження, з врахуванням коефіцієнта запасу міцності. Крім цього, розроблені способи страхівки, основані на використанні вертикальних та горизонтальних страхувальних канатів.

### 1.3 Допустимі відстані наближення до струмопровідних частин і вимоги до інструментів та обладнання при роботах під напругою

Безпека персоналу при ВРН залежить від ізоляційних характеристик застосованих ізолювальних засобів і рівня ізоляції повітряних проміжків між частинами електроустановок, які знаходяться під напругою, і «землею». НРІ повітряних проміжків пропорційний електричній міцності, вологості, температурі і тиску, залежить від конструкції електродів і характеристик напруги, що діє. Всі ці фактори необхідно враховувати при виборі ізоляційних відстаней між працюючим і струмопровідними частинами – мінімальні відстані наближення.

Мінімальна відстань наближення – це відстань, ближче за яку електрик, що знаходиться на потенціалі «землі» разом із

струмопровідними (неізольованими) частинами або інструментами, не має права наближатися до частин електроустановки, яка знаходиться під напругою, а електрик, що знаходиться на потенціалі струмопровідних частин, не має права наближатися до заземлених конструкцій або до струмопровідних частин, які знаходяться під потенціалом сусідніх фаз електроустановки.

При організації ВРН необхідно перевірити допустимість їх проведення в залежності від технології виконання робіт, яка застосовується, і конструкції ПЛ або відкритих розподільчих пристроїв за умовами можливості забезпечення мінімальних відстаней наближення. При цьому необхідно враховувати можливі відхилення гірлянд і проводів під дією вітру та зусиль, які прикладаються до них в процесі виконання робіт, а також розміри технологічного обладнання і тіла людини, які можуть шунтувати повітряні проміжки. В процесі роботи можливі зменшення повітряного проміжку за рахунок неконтрольованого відхилення руки працюючого або його інструменту. Габаритні розміри, необхідні для виконання робіт, треба визначати при розгляді конкретних технологій ВРН на лініях та ВРН різних класів напруг.

Наступною обов'язковою умовою безпеки є забезпечення НРІ засобів, які використовуються при ВРП, а також гірлянд ізоляторів, на яких виконуються роботи.

Ізоляція ЛЕП піддається впливу робочої напруги і перенапруг (внутрішніх та грозових). Для зниження впливу перенапруг на ізоляцію і повітряні проміжки використовують розрядники, обмежувачі перенапруг, грозозахисні троси і т.п. Підвищення надійності роботи ЛЕП можна досягти збільшенням ізоляційних проміжків, довжини гірлянд, а також довжини їх шляху витікання. Все це пов'язано з підвищенням затрат на будівництво ЛЕП і ВРП. Тому при проєктуванні прийнятний рівень надійності визначають за мінімумом приведених затрат. Доцільність підвищення надійності лінії за рахунок збільшення її габаритних розмірів і вартості визначається на основі порівняння з отриманими при цьому зниженні збитків від зменшення кількості та тривалості аварійних вимкнень ліній через перекриття ізоляційних підвісок і повітряних проміжків. Проведеними за цією методикою розрахунками [3], встановлено, що оптимальною є кількість вимкнень лінії 0,1 на рік (одне вимкнення за 10 років на 100 км). Дослідження, а також практика показали, що при робочій напрузі перекриття можуть відбуватися тільки при несприятливих атмосферних умовах (зволоженнях ізоляторів при наявності дощу, туману, мокрого снігу та ін.). При цьому перекриття може відбуватися як по гірлянді ізоляторів, так і по ізолювальних пристроях, які застосовуються для робіт.

Поверхня ізоляторів в умовах експлуатації може знаходитися в різному стані: сухому або зволоженому, чистому чи забрудненому. Кількість вологи, яка потрапляє на ізолятори, може змінюватись в широких межах. Це залежить від характеру зволоження (роса, дощ, туман); інтенсивності зволоження (при тумані і росі зволоження більш рівномірне); конструкції ізоляторів (в ізоляторах із сильно “розвиненою” поверхнею під час дощу нижня частина зволожується менше), а також від товщини забруднення вздовж поверхні. На чистій поверхні волога затримується значно менше, ніж на забрудненій [4]. Стан ізоляційних поверхонь визначає розрядні напруги і процес розвитку розряду. В сухому стані забрудненого ізолятора розрядні напруги практично не відрізняються від розрядних напруг чистого ізолятора. При зволоженні різко знижується опір шару забруднення.

Розглянемо процес розвитку розряду по довгострижньовому склянопластиковому ізолятору, який застосовується у ВРН як ізоляційна тяга або штанга. Ізолятор це стрижень  $l$  з наконечниками  $2$  довжиною  $l$ , діаметром  $d$  і товщиною шару забруднення  $\delta$  (див. рис.1.2). Опір шару забруднення можна визначити за виразом:

$$R = \frac{\rho l}{\pi d \delta}, \quad (1.1)$$

де  $\rho$  – питомий об’ємний опір забруднення, Ом·м.

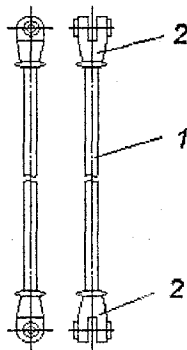


Рисунок 1.2 – Ізоляційна штанга

Якщо прийняти опір провідного шару забруднення однаковим за товщиною  $\delta$ , то можна визначити питому поверхневу провідність шару

забруднення  $\chi_{\Pi} = \delta/\rho$ . Тоді формула 1.1 набуває вигляду:  $R = 1/(\pi d \chi_{\Pi})$ . Таким чином, опір ізолятора прямо пропорційний довжині шляху витoku і обернено пропорційний питомій поверхневій провідності шару забруднення та діаметру ізолятора.

Підвищення опору ізоляторів досягають зниженням діаметра  $d$  або збільшенням довжини шляху витoku  $l$ . Тому при ВРН використовують склопластикові ізолятори малого діаметра  $d = 3...5$  см або склопластикові ізолятори зі збільшеною довжиною шляху витoku  $l$  за рахунок розгалуженої поверхні ребер. Для зниження поверхневої провідності  $\chi_{\Pi}$  ізоляційні конструкції, які використовуються при ВРН, повинні бути чистими і сухими. Перед початком робіт під напругою склопластикові ізолятори необхідно ретельно протирати ганчіркою. Ізолювальні канати, що застосовуються, також повинні бути чистими, для цього їх слід зберігати в спеціальних герметичних контейнерах.

Склопластикові ізолятори безпосередньо перед початком робіт необхідно змащувати тонким шаром гідрофобних ізоляційних паст, це підтримає їх НРІ у випадку можливих зволожений в процесі роботи. ВРН з використанням склопластикових ізоляторів без змащування їх поверхонь гідрофобними пастами забороняється. Склопластикові ізолятори з ребристою поверхнею необхідно періодично (1 – 2 рази на рік) протирати спиртовоацетоновою сумішшю.

При визначенні вимог безпеки ВРН необхідно враховувати, що ці роботи проводяться, зазвичай, тоді, коли гірлянди ізоляторів ослаблені, наприклад, в них є дефектні ізолятори, які мають замінюватися. При виконанні робіт з заміни ізоляторів можливе шунтування частини ізоляторів гірлянди інструментом, що також призводить до зниження НРІ гірлянди. Таким чином, з одного боку, роботи проводяться в суху погоду, що знижує імовірність перекриття при робочій напрузі, а з іншого боку, – роботи виконуються на ослабленій, за рівнем ізоляції, гірлянді. Необхідно визначити ступінь надійності такої гірлянди, визначити кількість щільних ізоляторів, при яких допускаються ВРН, тобто оцінити рівень ізоляції гірлянди у відповідності з умовами безпеки. В цьому випадку забороняється користуватись розрахунками за мінімумом приведених затрат або за ефективністю ремонту ЛЕП під напругою, порівняно з їх вимкненням для ремонтних робіт. Розрахунок треба проводити на основі принципу неможливості перекриття гірлянди. Імовірність перекриття гірлянди ізоляторів при робочій напрузі [4]:

$$P(U_p) = F\left(\frac{E_{\text{роб}} - E_{\text{розр}}}{cE_{\text{розр}}}\right), \quad (1.2)$$

де  $F$  – функція нормального розподілу розрядних градієнтів;

$E_{\text{розр}}$  – розрядний градієнт гірлянди ізоляторів;

$c$  – коефіцієнт мінливості розрядних напруг, який можна прийняти рівним 0,065 [5].

При ВРН на лінії працює, як правило, одна або декілька бригад, зазвичай не більше 10. Імовірність перекриття гірлянди ізоляторів при робочій напрузі хоча б в одній із  $m$  працюючих бригад:

$$P_m = F\left(\frac{E_{\text{роб}} - E_{\text{розр}}}{cE_{\text{розр}}}\right)^m \quad (1.3)$$

Якщо  $mF \ll 1$ , то очікувана кількість перекриттів

$$n = mF\left(\frac{E_{\text{роб}} - E_{\text{розр}}}{cE_{\text{розр}}}\right) = mF\left(\frac{1 - \bar{k}}{c\bar{k}}\right), \quad (1.4)$$

де  $\bar{k} = E_{\text{розр}} / E_{\text{роб}}$ .

Виходячи з необхідності забезпечення надійної роботи ізоляції лінії електропередачі при зволоженні, рівень ізоляції вибирають таким, щоб коефіцієнт запасу  $k = 1,8 \dots 2$  [6]. В сухому стані розрядні напруги ізоляторів значно вищі, у зв'язку з цим значення  $\bar{k}$  досягає порядку 4. При  $k = 4$  імовірність перекриття одниничної гірлянди ізоляторів складе  $10^{-8}$ , а очікувана кількість перекриттів однієї з  $m$  гірлянд – одне на сто тисяч років.

Якщо при розрахунках враховувати вплив тільки робочої напруги в суху погоду, можна було б значно послабити гірлянду. Однак, слід пам'ятати, що ізоляційні відстані і допустима кількість ізоляторів в гірлянді при ВРН визначаються не робочою напругою, а перенапругами. При цьому в розрахунок беруться внутрішні перенапруги, тому, що при грозі роботи під напругою повинні бути припинені. Зазвичай наближення грози визначається за спалахами блискавки, які видно за 15 – 20 км. Хвилі перенапруг, поширюючись по лінії, затухають, і в місці роботи їх рівень не перевищує внутрішніх перенапруг.

При проектуванні ЛЕП і ВРП ізоляційні відстані між проводом і траверсою, проводом і стояком опори вибирають [5], виходячи з необхідності забезпечення надійності, що вимагається (0,1 вимкнень за рік), з врахуванням перенапруг, можливих відхилень гірлянд під впливом вітру, а також різних інших погодно-кліматичних факторів: зволожень, забруднень, температури і тиску повітря.

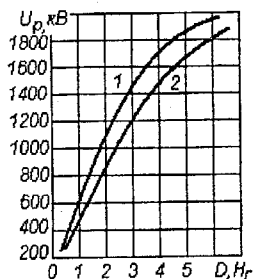


Рисунок 1.3 – Залежність розрядної напруги  $U_p$  від довжини гірлянди ізоляторів  $H_r$  та відстані від стійка опори до проводу:

- 1 – крива розрядних напруг проміжків провід – опора;  
2 – сухих гірлянд ізоляторів.

Для захисту від прямого попадання грозових розрядів на ПЛІ застосовують троси, а в ВРП – блискавковідводи. Тому всі ізоляційні відстані на опорі або порталі визначаються внутрішніми перенапругами. На основі експериментів [5, 7] визначені розрядні напруги  $U_0$  довгих ізоляційних проміжків і гірлянд ізоляторів, які покладені в основу при виборі ізоляції повітряних ЛЕП (див. рис.1.3). Спеціальними дослідженнями [8] не виявлено суттєвих відмінностей між розрядними напругами проміжків провід – стійок опори і провід – траверса при їх однаковій довжині. При комутаційних перенапругах розряд розвивається не по поверхні гірлянди ізоляторів, а по повітрю. У зв'язку з цим, розрядна напруга визначається формою електродів повітряного проміжку. Встановлено також [5], що при наявності захисної арматури, на гірлянді розрядна напруга не знижується, якщо в ній є до 10 – 15 % пошкоджених ізоляторів. Цей важливий факт треба враховувати при ВРН з заміни дефектних ізоляторів.

При оцінці допустимої відстані наближення до струмопровідних частин, що знаходяться під напругою, за основу приймають принцип, який виключає перекриття проміжку по повітрю при ВРН.

Враховуючи, що перекриття проміжку під дією напруги має імовірнісний характер, оцінити практичну неможливість перекриття можна у випадку прийняття для розрахунку дуже малої його імовірності, наприклад, одне перекриття за сто років. При цьому в розрахунок закладається імовірність, при якій хоча б одна із  $m$  бригад, які працюють під напругою, один раз на сто років буде працювати саме на тій опорі ЛЕП, де під дією перенапруг з імовірністю 1 раз на 100 років відбудеться перекриття проміжку безпеки.

Імовірність перекриття одиничного проміжку при комутаційній перенапрузі визначається за виразом:

$$P(U_{\text{ком}}) = F\left(\frac{E_{\text{ком}} - E_{50\%}}{cE_{50\%}}\right) = F(t),$$

де  $F$  – функція нормального розподілу розрядних напруг з аргументом

$$t = \left(\frac{E_{\text{ком}} - E_{50\%}}{cE_{50\%}}\right);$$

$U_{\text{ком}}$  – комутаційна перенапруга;

$U_{50\%}$  – п'ятдесятивідсоткова розрядна напруга проміжку;

$c$  – коефіцієнт мінливості розрядних напруг.

При  $U_{\text{ком}} = U_{50\%}$  аргумент  $t$  функції нормального розподілу розрядних напруг рівний нулю і  $P(U_{\text{ком}}) = 0,5$ . При  $U_{50\%} > U_{\text{ком}}$  аргумент  $t$  має від'ємне значення. На рис. 1.4 приведена залежність функції нормального розподілу випадкової величини  $F_m$  від аргумента за даними табличними значеннями. Якщо на лінії послаблено  $m$  місць (працює  $m$  бригад), то

$$F_m = \frac{U_{\text{ком}} - U_{50\%m}}{cU_{50\%m}} = F_m(t_{50\%m}), \quad (1.5)$$

де  $U_{50\%m}$  – п'ятдесятивідсоткова розрядна напруга ізоляції лінії при  $m$  ослаблених місцях. При збільшенні кількості ослаблених місць в процесі ВРН буде зменшуватись напруга  $U_{50\%m}$ , це необхідно враховувати при розрахунках.

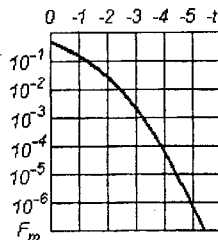


Рисунок 1.4 – Функція нормального розподілу випадкової величини  $F_m$

Як видно з табл. 1.1 [8], зі збільшенням кількості ослаблених місць  $m$  зменшується відношення середньо квадратичного відхилення розрядних

напруг від середньої квадратичної напруги  $\sigma_m$  при  $m$  розрядних проміжках до середньо квадратичного відхилення розрядних напруг від середньої розрядної напруги  $\sigma_1$ , при одному розрядному проміжку.

Таблиця 1.1 – Значення  $t_{50\%m}$  в залежності від кількості ослаблених місць

$m$	1	2	4	10	20	1000	10000
$t_{50\%m} = \frac{U_{50\%1} - U_{50\%m}}{\sigma_1}$	0	0,55	1	1,5	1,84	3,2	3,8
$\sigma_m / \sigma_1$	1	0,81	0,7	0,6	0,54	0,33	0,28

Це означає, що залежність  $F_m(U_{\text{ком}})$  можна представити одиничною функцією, яка сягає нуля при  $U_{\text{ком}} < U_{50\%m}$  і рівна одиниці при  $U_{\text{ком}} > U_{50\%m}$ .

Таким чином, при  $m$  працюючих бригадах можна визначити

$$t_{50\%m} = \left( \frac{U_{\text{ком}} - \tilde{U}_{50\%m}}{cU_{50\%m}} \right),$$

звідки знайдемо

$$U_{50\%m} = \left( \frac{U_{\text{ком}}}{1 - t_{50\%m} c} \right). \quad (1.6)$$

У зв'язку з тим, що комутаційні перенапруги піддаються статичному розкиданню, до уваги беруть кратність перенапруг, відповідно до імовірності перенапруг з такою кратністю: 1 раз на 100 років. Це відповідає збільшенню розрахункової кратності перенапруг на коефіцієнт безпеки  $k_G = 1,15$  [6]:

$$U_{\text{ком}} = U_n \sqrt{2} k_p k_G k_{\text{пр}} / \sqrt{3},$$

де  $U_n$  – номінальна напруга мережі;  $k_p$  – коефіцієнт, який враховує перевищення робочої напруги над номінальною;  $k_G$  – коефіцієнт безпеки, рівний 1,15;  $k_{\text{пр}}$  – розрахункова кратність комутаційних перенапруг.

Коефіцієнт мінливості розрядних напруг  $c$  приймають рівним 0,065 [8].

Підставлення значення  $U_{\text{ком}}$  у вираз (1.6) дозволяє отримати значення  $U_{50\%m}$ .

За величиною  $U_{50\%m}$  у відповідності з рис. 1.3 та, приймаючи  $U_{50\%m} = U_p$ , визначається допустима відстань наближення  $D$  при роботах під напругою. Для ЛЕП 750 кВ, враховуючи, що  $k_p=1,05$ ,  $k_{пр}=2,1$ ,  $U_{50\%m}=1808$  кВ,  $k_6=1,15$ ,  $m=10$ ,  $t_{50\%m}=1,5$ ,  $c=0,065$ , допустима відстань наближення складає 4,5 м, а довжина гірлянди ізоляторів за ізоляцією  $H_T$ , при якій дозволяється ВРН, яку визначають (див. рис. 1.3) у відповідності з допустимим розміром наближення по повітряному проміжку для даної напруги, дорівнює 5,8 м.

Встановлено [6], що збільшення кількості проміжних ланок, за допомогою яких гірлянда кріпиться до опори, з паралельним зменшенням кількості ізоляторів в гірлянді до 15-20% загальної довжини гірлянди, не знижує її ізоляційної спроможності при комутаційних перенапругах. Не виявлено зниження розрядних напруг гірлянди при виявленні в ній до 15% дефектних ізоляторів. Виходячи з цього, допускається виконання робіт під напругою на гірляндах ізоляторів, довжина яких не менша  $H_T$ , при наявності в них до 15 % дефектних ізоляторів. Кількість дефектних ізоляторів, при яких можна проводити ВРН, 7, де  $L_T$  – довжина гірлянди ізоляторів,  $H_{\text{із}}$  – висота одного ізолятора.

Довжина ізолювальної частини пристроїв та засобів, що використовуються при ВРН для ЛЕП 750 кВ, наведена в таблиці 1.2. При цьому робочий градієнт напруги на одиницю довжини прийнятий рівним 0,8 кВ/м. Довжину ізолювальних канатів, враховуючи важкість їх очищення від забруднень, приймають на 10 % більшою за довжину ізолювальної конструкції.

Таблиця 1.2 – Мінімально допустимі за умовами безпеки довжини ізолювальної частини пристроїв та засобів, призначених для ВРН, м

Номінальна напруга, кВ	Найменування		
	Ізолювальні тяги, драбини, штанги, захвати і т.п.	Ізолювальні тяги з розгалуженою поверхнею	Ізолювальні канати
750	5,8	5,8	6,5

Примітка. Перед виконанням робіт ізолювальне обладнання змащують гідрофобною пастою.

В процесі виконання робіт повинні бути забезпечені мінімальні відстані наближення заземлених конструкцій до струмопровідних частин. На рис. 1.5 показано піднімання монтерського стільця до проводів ПЛЛ. Виконувати роботи за вказаною технологією можна, якщо відстань  $D_{\phi} \geq D$ , де  $D$  – мінімальна допустима відстань наближення до струмопровідних частин для відповідного класу напруги ПЛЛ:

$$D_{\phi} = A - \lambda - B - 0,5,$$

де  $A$  – відстань від проєкції проводу на землю до стояка опори в місці максимального наближення монтерського стільця до стояка опори у його робочому положенні (біля проводу ПЛЛ), м;  $\lambda$  – відхилення гірлянди ПЛЛ при швидкості вітру 10 м/с, м;  $B$  – ширина монтерського стільця або стільця-візка, м; 0,5 – можливий випадковий рух руки електромонтера у візку або стільці-візку, м [2].

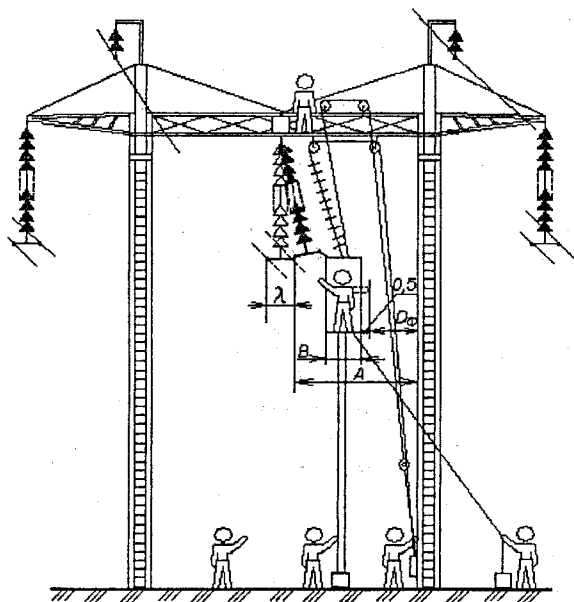


Рисунок 1.5 – Підіймання монтерського стільця до проводів ПЛЛ

Для виключення випадкових змін відстаней між струмопровідними частинами і «землею» при демонтажі струмопровідних частин необхідно використовувати пристрої, які мають НРІ і надійно з'єднуються з струмопровідними частинами і елементами опори. Як правило, це штанги з спеціальними захватами за провід і пристроями для кріплення на опорах. В табл. 1.2 вказані мінімально допустимі за умовами безпеки довжини ізолювальної частини пристроїв та засобів, які застосовуються при ВРН.

На підприємствах мають бути організовані умови для зберігання, транспортування і періодичних випробувань захисних засобів, пристроїв та обладнання для ВРН. Для зберігання засобів ВРН на підприємстві має бути виділено спеціальне приміщення. Причому ізолювальні канати і екранувальні комплекти необхідно зберігати в сухому опалюваному приміщенні. Ізолятори зберігають в спеціальних контейнерах, які захищають їх від пошкоджень та забруднень. Канати перевозять в спеціальних герметично закритих футлярах. Особливо ретельно необхідно в процесі зберігання, транспортування і використання в роботі берегти канати тому, що очистка їх від забруднень дуже важка. Не можна допускати їх торкання до забруднених предметів, землі, металоконструкцій опор і т.д.

Для здійснення контролю за станом засобів і пристосувань для ВРН на кожному підприємстві спеціальним розпорядженням повинно бути закріплено особу, яка відповідає за забезпечення надійного зберігання і своєчасне періодичне випробовування таких захисних засобів та пристосувань. Як правило, цю особу призначають зі складу адміністративно-технічного персоналу, яка має право керування ВРН (заступник головного інженера підприємства, начальник або старший майстер служби високовольтних ліній, заступник начальника району електричних мереж). Періодичні випробовування захисних засобів та пристосувань покладаються на службу підприємств електричних мереж або виробничих електричних об'єднань.

#### **1.4 Координація параметрів ізоляції лінії електропередачі в місці виконання робіт під напругою**

При експлуатації перевіряється електрична міцність ізоляторів гірлянд. Перевірка виконується за кривими розподілу напруги на ізоляторах, які знімаються за допомогою виміральної штанги [10]. Можливе також використання спрощеної штанги, яка визначає тільки наявність нульових ізоляторів в гірлянді.

В наслідок пробивання підвісних ізоляторів з скла рівновага внутрішніх сил у склі порушується і скляна тарілка ізолятора розсипається. Залишки скла, які заклинюються між шапкою та стрижнем, не дозволяють стрижневій вийти з шапки і цим самим утримують провід від падіння на

землю. Механічна міцність залишку ізолятора достатня для нормальних експлуатаційних навантажень. Оскільки руйнування тарілки ізолятора видно при огляді з землі, вимірювання штангою на скляних ізоляторах не потрібні.

Стрижньові ізолятори з великою товщиною фарфору (або скла) між електродами не можуть бути пробиті, і тому вимірювання за допомогою штанги для них також зайві.

Розроблено методи з заміни дефектних нульових ізоляторів під робочою напругою. Ці методи використовуються і у випадку виявлення в одній гірлянді декількох дефектних ізоляторів.

Маючи дані щодо кількості бракованих ізоляторів за повний цикл профілактичних випробувань, наприклад,  $T$  років, можна оцінити імовірність появи (протягом  $T$  років) в гірляндах лінії 1, 2, 3, 4 ... нульових ізоляторів. Нехай із загальної кількості  $m$ , заміряних ізоляторів,  $n$  ізоляторів виявилися дефектними (нульовими). Тоді імовірність пошкодження одного ізолятора  $p = n/m$ . Імовірність появи в гірлянді, яка складається з  $s$  ізоляторів,  $r$  дефектних ізоляторів дорівнює [10]:

$$p_r = C_s^r p^r (1-p)^{s-r}, \quad (1.7)$$

де

$$C_s^r = \frac{s!}{r!(s-r)!},$$

а кількість таких гірлянд з  $r$  дефектними ізоляторами на лінії, яка має всього  $h$  гірлянд, дорівнює:

$$h_r = h p_r. \quad (1.8)$$

Визначимо імовірну кількість гірлянд з 4 нульовими ізоляторами типу ПСК-300К на лінії 750 кВ Вінниця-ЧАЕС довжиною 360 км. Кожна гірлянда має по 40 ізоляторів. Дані досліджень протягом часу  $T=3$  роки показують, приблизно, 1309 нульових ізоляторів.

Якщо відстань між опорами становить, приблизно, 0,5 км, то кількість гірлянд на лінії (для 3-х фаз):

$$h = \frac{360}{0.5} \cdot 3 = 2160.$$

Імовірність

$$p = \frac{1309}{2160 \cdot 40} = 0.015.$$

За формулою (1.8) знаходимо

$$p_r = C_{40}^4 \cdot 0,015^4 (1 - 0,015)^{40-4} = 2,78 \cdot 10^{-3}.$$

Імовірнісна кількість гірлянд з 4 ізоляторами буде складати:

$$h_r = 2,78 \cdot 10^{-3} \cdot 2160 = 6.$$

Такі гірлянди можуть бути перекриті під робочою напругою. Для координації ізоляції в місці ВРН, яка на 10 % нижча за НРІ, пропонується на період виконання робіт примусово знизити на 10 % ізоляцію цієї ж фази на сусідніх опорах (зліва і справа від опори, де виконуються роботи). Конструктивно примусову координацію можна виконати шунтом. Шунтування ізоляторів в гірлянді при ВРН призводить до перерозподілу напруги на залишеній частині гірлянди, яка враховується при розробці технології ремонтних робіт. Якщо закортити до 4-х ізоляторів, що прийнято в технологіях робіт, зміна напруги на окремих ізоляторах не перевищить 20 % [12].

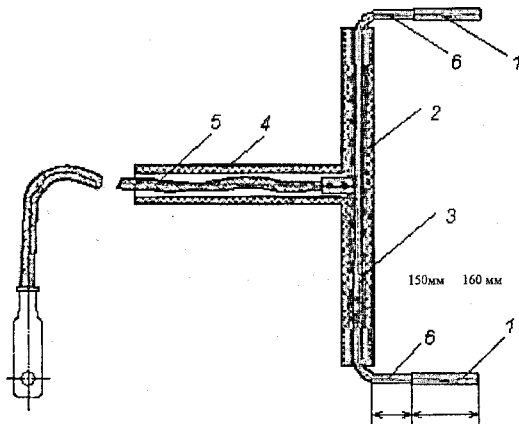


Рисунок 1.11 – Штанга оперативна:

- 1 – кільця захвату; 2 – стрижень; 3 – пружина; 4 – ручка ізоляційна;  
5 – провідник гнучкий; 6 – ланка з'єднувальна

У вигляді шпунта можна використовувати оперативну штангу (див. рис. 1.11), яка складається з ізоляційної ручки 4 з гнучким провідником 5, стрижня 2 з пружиною 3 і кілець захвату 1, які кріпляться на стрижень за допомогою з'єднувальних ланок 6. Висота стрижня повинна дорівнювати будівельній висоті 10 % ізоляторів гірлянди ( $H_r$ ). У нашому випадку висота одного ізолятора становить – 175 мм, отже, при пунтуванні 4 ізоляторів

$$10\%H_r = 4 \times 175 = 700 \text{ мм.}$$

Довжина стрижня регулюється за допомогою пружини з кроком 175мм для можливості пунтування необхідної кількості ізоляторів.

Якщо діаметр шапки ізолятора дорівнює 160 мм, то мінімальний діаметр кілець захвату також має становити 160 мм. Оскільки діаметр складеталі ізолятора дорівнює 450 мм, то мінімальна довжина з'єднувальних ланок має складати 150 мм. Прийняті габаритні розміри мають забезпечити зручне і надійне використання запропонованої оперативної штанги, як шпунта, для координації ізоляції при ВРН.

### **1.5 Координація випробувальної напруги з характеристиками оснастки для виконання робіт під напругою**

Технології ВРН передбачають широке застосування склопластикових та полімерних ізоляційних матеріалів [9].

В одній із технологій ВРН транспортування електромонтера на потенціал проводу фази ПЛЕП 750 кВ виконується так званим методом «ізолятора - гойдалки» з використанням склопластикового ізолятора типу СК 160/750.

Один кінець цього ізолятора кріпиться до траверси опори, а на другому змонтовано підвісне монтерське крісло.

Згідно з технологічною картою виконання ВРН, у вихідному положенні монтерське крісло підводиться до стояка опори, а потім електромонтери, маніпулюючи з землі, за допомогою поліпропіленових канатів відводять крісло від стояка опори і підтягують його до проводу ПЛЕП. На час ВРН на ПЛЕП повинно блокуватись трифазне АПВ.

Важливим елементом, який забезпечує виконання робіт, є склопластиковий ізолятор СК 160/750. Контроль електричних характеристик цього ізолятора виконується безпосередньо перед початком робіт, що дозволяє гарантувати безпеку його використання в конкретних умовах довкілля (температура, вологість, тиск).

Існуюча методика [9] передбачає випробування вказаного ізолятора шляхом дотику порожнього монтерського крісла до фазного проводу, який перебуває під робочою напругою. Таким чином ізолятор класу 750 кВ піддається випробуванню робочою напругою фази, яка дорівнює  $636 \text{ кВ}_{\text{max}}$ .

Слід зазначити, що такий рівень випробувальної напруги не відповідає вимогам діючих норм [13] для даного класу ізоляційних конструкцій.

Цими нормами випробувальна напруга промислової частоти встановлена з метою координації рівня ізоляції електрообладнання і рівня внутрішніх перенапруг, що діють на неї.

При визначенні величини випробувальної напруги в даному випадку за основу береться розрахунковий рівень внутрішніх перенапруг в устаткуванні даного класу:

$$U_{р.в.п.} = k_{в.п.пр.} \cdot U_{найб.роб.}, \quad (1.9)$$

де  $k_{в.п.пр.}$  – допустима кратність внутрішніх перенапруг;  $U_{найб.роб.}$  – найбільша робоча напруга електроустаткування.

Випробування ізоляторів відбувається поданням на них випробувальної напруги  $U_{р.в.п.}$  протягом 1 хвилини.

Таким чином, за існуючою методикою рівень випробувальної напруги складає 636 кВ<sub>мах</sub>, а, згідно з нормами, має бути не менше 1335 кВ<sub>мах</sub>.

Ця розбіжність випробувальних напруг пояснюється тим, що в діючій методиці при виборі випробувальної напруги не враховано допустимої кратності внутрішніх перенапруг  $k_{в.п.пр.}$ , величина якої для ПЛЕП 750 кВ складає 2,1.

Для реалізації нормованих випробувань склопластикового ізолятора на робочому місці пропонується випробувати його по частинах [14].

Одним із можливих методів поділу ізолятора СК 160/750 на частини зі збереженням його цілісності є секціонування шунтувальними електродами регульованої довжини телескопічної конструкції (рис. 1.12). При цьому один кінець телескопічного шунта (А) закріплюється на верхньому екранному кільці, а другий пересувається на потрібну довжину. Телескопічний шунт (В) одним кінцем фіксується до монтерського крісла (на рис. 1.12 не показано), а другий має можливість пересуватися на потрібну довжину. Рухома частина телескопічного шунта закінчується кульковим електродом, радіус якого визначено за умови відсутності загальної корони.

Запропонована методика випробування складається з двох циклів наближення крісла до фазного проводу. У першому циклі шунтується верхня половина ізолятора і напруга 636 кВ протягом 1 хвилини подається до верхньої половини ізолятора. Таким чином, ізолятор всієї довжини випробовується сумарною напругою 1272 кВ<sub>мах</sub>, що менше від нормативної на 5 %.

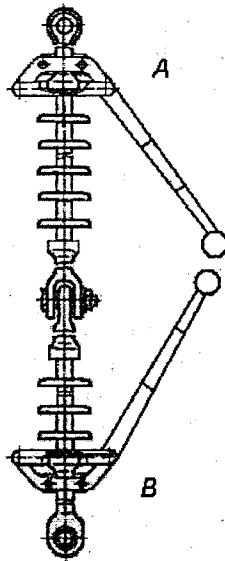


Рисунок 1.12 – Телескопічна конструкція: А, В – телескопічні шунти

### 1.6 Умови виконання робіт під напругою

Роботи в електроустановках під напругою дозволяється проводити при визначених кліматичних умовах, що забезпечують можливість безпечного їх виконання. Не дозволяється працювати при дощі, тумані, снігопаді або підвищеній вологості повітря більше за 90 %. Це пояснюється зниженням при зволоженні НРІ гірлянд ізоляторів та ізолювальних засобів, які використовуються при ВРН. Якщо в процесі роботи погодні умови погіршилися, ВРН мають припинитися. При цьому демонтується оснастка і обладнання з опори, а персонал відводиться від місця роботи. При різкому погіршенні погодних умов (непередбачені опади у вигляді дощу чи мокрого снігу) допускається залишати обладнання на опорах, в тому числі і під напругою, а персонал віддаляється від опори або металоконструкції.

Роботи під напругою забороняється проводити при грозі або сильному вітрі. Грозові перенапруги можуть призвести до перекриття ізоляції у місці роботи, а сильний вітер – до зниження ізоляційних відстаней між проводом і стояком опори через відхилення гірлянд ізоляторів. Крім цього, при вітрі важче виконувати роботи на висоті і до того ж підвищується небезпека їх виконання. Контроль за грозовими

явищами повинні вести диспетчерські служби підприємств і районів електричних мереж, а також керівники та виконавці робіт. Для контролю за грозовою діяльністю доцільно застосовувати індикатори наближення грози.

Швидкість вітру, при якому дозволяється ВРН, не повинна перевищувати 10 м/с. Кожна бригада повинна бути оснащена приборами для оцінки безпосередньо на місці робіт відносної вологості повітря і швидкості вітру. Зазвичай для цих цілей використовують анемометри і гірометри.

Для забезпечення безпечних умов ВРН на ПЛ до їх початку необхідно виконати режимні заходи, які призначені для зниження імовірності виникнення небезпечних перенапруг. Для цього на лінії необхідно знижувати до допустимих значень робочу напругу. Крім цього, з роботи повинні бути виведені всі види пристроїв автоматичного повторного увімкнення лінії у випадку її автоматичного вимкнення дією РЗА. В роботу слід ввести всі, які є, засоби обмеження перенапруг, а також захисти з мінімальними уставками за часом вимкнення. В ряді випадків для виключення перекриття ізоляції в місці робіт необхідно застосовувати навмисне шунтування частини ізоляторів в гірлянді на сусідніх опорах, знижуючи таким чином НРІ до рівня, при якому у випадку виникнення перенапруг відбувається перекриття в місці встановлення пристроїв шунтування, а не на місці ВРН. Необхідність шунтування ізоляторів в гірляндах і способи виконання визначаються спеціальними рішеннями.

Якщо в процесі виконання ремонтів під напругою виникне вимкнення ПЛ від захисту, її увімкнення відбудеться тільки після узгодження з керівниками робіт усіх бригад, допущених на ПЛ для ВРН. Для цього на ключах керування підстанцій та електростанцій на ПЛ, де ведуться роботи під напругою, повинні бути вивішені плакати «Не вмикати без дозволу керівника ВРН». Всі бригади повинні бути оснащені засобами зв'язку з диспетчерськими службами. Зазвичай при роботах на ПЛ з цією метою використовується радіозв'язок, а на підстанціях – канали диспетчерського зв'язку.

При необхідності надання допомоги електромонтеру, який знаходиться на провадах ПЛ під напругою, за наказом керівника роботами ПЛ має бути негайно вимкнена.

### Контрольні запитання

1. Яка гранична кількість дефектних ізоляторів припустима в гірлянді?
2. Що послаблює ізоляцію в місці ВРН?
3. Як виконати координацію ізоляції в місці ВРН?

## 2 ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ В МІСЦІ ВИКОНАННЯ РОБІТ ПІД НАПРУГОЮ

### 2.1 Екологічні аспекти передачі електроенергії

До середини минулого сторіччя вплив повітряних ліній (ПЛ) на навколишнє середовище практично не враховувався через малу щільність розміщення мереж і невелике розмаїття їх конструктивних рішень. З ростом класів напруги (500, 750 і більше 1000 кВ), дальності електропередач посилюється вплив ПЛ на біо- і соціальні сфери, це змусило з початку 70-х рр. серйозно зайнятися вивченням такого впливу і пошуком шляхів зниження негативного впливу на навколишнє середовище. Росте також щільність розміщення розподільних мереж, це робить проблему особливо гострою в густонаселених районах. Так, у деяких регіонах щільність розміщення лінії електропередачі різних напруг досягає граничного значення, при якому на навколишнє середовище впливає вже не одна ПЛ, а їх сукупність. Цю особливість «забруднення» середовища сукупністю ПЛ необхідно враховувати при проектуванні електричних мереж.

Повітряні лінії електропередачі як елемент електроенергетичної системи (ЕЕС) мають безпосередній контакт і взаємовплив на навколишнє середовище. Найбільш характерними екологічними проблемами, з якими доводиться зіштовхуватися при проектуванні й будівництві ПЛ, є такі: відчуження й вилучення земель, вирубка лісових насаджень, обмеження господарської діяльності в зоні відчуження землі для ПЛ, шкідливий вплив електромагнітного поля на біосферу, виникнення теле- та радіоперешкод, акустичні шуми, створювані ПЛ, погіршення роботи засобів зв'язку, погіршення естетичного сприйняття ландшафту в місцях проходження трас ПЛ.

Частина з зазначених впливів на навколишнє середовище піддається кількісній оцінці й може бути виражена в економічних показниках, які враховують при проектуванні. Більшу ж частину впливів на біосферу й соціальні системи оцінити складно, а часом і неможливо. Розглянемо три основні підсистеми, на які впливає ПЛ.

#### 1. Екологічна підсистема:

- порушення ґрунтово-рослинного комплексу й рельєфу місцевості;
- відторгнення коштовних сільськогосподарських земель;
- наслідки вирубки лісів по трасі ПЛ;
- зміна середовища перебування тварин, птахів, комах і їхнього генофонду;
- вплив на біопроцеси в рослинному світі;
- обмеження й зміна шляху міграції тварин і птахів.

#### 2. Соціальна підсистема:

— погіршення умов життя населення поблизу ПЛ (акустичний шум, теле- і радіоперешкоди);

— негативний естетичний вплив на ландшафт місцевості, населені пункти, зони відпочинку, культурні й природні пам'ятники й т.д.;

— негативний вплив електромагнітного поля ПЛ на організм людини в охоронній зоні ПЛ.

### 3. Економічна підсистема:

— завдання збитків сільському господарству у зв'язку з відторгненням земель й обмеженням господарської діяльності в охоронній зоні ПЛ;

— завдання збитків лісовому господарству.

Очевидно, що для забезпечення можливості обліку всього комплексу впливів ПЛ на навколишнє середовище, необхідно проводити дослідження енергетиків, біологів, соціологів, економістів і фахівців інших галузей науки. Критерієм же вибору варіанта електропередачі залишається мінімум приведених народногосподарських витрат на будівництво й експлуатацію ПЛ. З урахуванням впливу на навколишнє середовище, їх можна записати формулою:

$$Z = Z_{ПЛ} + Z_{екол} + Z_{соц} + Z_{екон} \quad (2.1)$$

де  $Z_{ПЛ}$  – витрати на будівництво й експлуатацію ПЛ;  $Z_{екол}$ ,  $Z_{соц}$ ,  $Z_{екон}$  – витрати на проведення заходів, спрямованих на запобігання або ліквідацію наслідків негативного впливу ПЛ на екологічні, соціальні й економічні підсистеми [16].

До складу витрат входять фактичні й можливі збитки (у грошовому вираженні), заподіявані народному господарству, або додаткові витрати на компенсування цих збитків. Облік таких складових витрат змусить при проектуванні ПЛ розглядати також варіанти:

— більш довгі траси для обходу ПЛ густонаселених пунктів, місць відпочинку, природних і культурних пам'ятників, високопродуктивних земель, коштовних лісових масивів, магістральних залізниць і шосейних доріг і т.д.;

— ПЛ із заміною на окремих ділянках опор на більш естетичні конструкції;

— заміни ПЛ на окремих ділянках кабельною лінією;

— враховуючі масові посадки вздовж траси ПЛ дерев, що маскують конструкції опор і захищають близько розташовані населені пункти від негативних впливів лінії.

## 2.2 Безпосередній вплив електричного поля на людину

Після декількох місяців експлуатації перших підстанцій 500 кВ частина персоналу почала скаржитися на головний біль й погане самопочуття, пов'язуючи це з тривалим перебуванням в електричному полі. З метою вивчення біологічної активності електричного поля розподільних пристроїв 500 кВ було організовано систематичне медичне обстеження близько 250 чол., які довгостроково працювали на таких підстанціях [18]. Оцінка досліджень впливу електричного поля здійснювалась як за абсолютними показниками стану здоров'я обстежуваних, так і порівнянням їх з персоналом підстанцій 110, 220 кВ. Обстеження показали [19], що тривала робота на підстанціях 500 кВ без засобів захисту призводить до порушення функціонального стану центральної нервової системи, серцево-судинної системи і зміни складу крові й зниження полової потенції.

Спостереження за динамікою зміни виявлених розладів протягом ряду років показали, що стійкість й інтенсивність наростають зі збільшенням стажу роботи. Вплив електричного поля підсилюється зі збільшенням робочої напруги. Перехід декількох підстанцій з 400 на 500 кВ супроводжувався значним зростанням зазначених розладів і порушень.

Крім медичних, здійснювались фізіологічні обстеження людей безпосередньо в діючих електроустановках [20]. Вони підтвердили наявність несприятливого впливу поля на людину й дозволили уточнити характер виникаючих змін. Виявилося, що глибина функціональних розладів перебуває в прямій залежності від тривалості перебування в електричному полі.

Біологічний вплив електричних і магнітних полів на організм людей та тварин досить багато досліджувався. Ефекти, які виникають при цьому, якщо вони й виникають, дотепер не зрозумілі й важко піддаються визначенню, тому ця тема залишається, як і раніше, актуальною.

Магнітні поля на нашій планеті мають подвійне походження – природне й антропогенне. Природні магнітні поля, так звані магнітні бурі, зароджуються в магнітосфері Землі. Антропогенні магнітні збурювання охоплюють меншу територію, ніж природні, проте їх прояв значно інтенсивніший, а отже, приносить і більш відчутний збиток. У результаті технічної діяльності людина створює штучні електромагнітні поля, які в сотні разів сильніші від природного магнітного поля Землі. Джерелами антропогенних випромінювань є: потужні радіопередавальні пристрої, електрифіковані транспортні засоби, лінії електропередачі (рис. 2.7).

Одні з найбільш сильних збудників електромагнітних хвиль – струми промислової частоти (50 Гц). Так, напруженість електричного поля безпосередньо під лінією електропередачі може сягати декількох тисяч вольтів на метр ґрунту, хоча через властивість зниження напруженості

грунтом уже при віддаленні від лінії на 100 м напруженість різко знижується до декількох десятків вольтів на метр.

Критерії, за якими треба оцінювати безпосередній вплив електричного поля на людину, повинні бути контрольованими й допускати нормування.

*Напруженість електричного поля на робочому місці* добре характеризує ступінь безпосереднього впливу електричного поля на людину й відповідає механізму цього впливу. Напруженість електричного поля вимірюється спеціальним приладом [21], принцип дії якого заснований на вимірюванні тієї напруженості, яка протікає між пластинами антени, що утворюють диполь.

*Градiєнт напруженості біля поверхні тіла людини* також відповідає механізму безпосереднього впливу електричного поля. Однак, поки остаточно не встановлено, яка з ділянок тіла найбільш піддається впливу електричного поля, тому зараз важко встановити методику вимірювання градієнтів і їх нормування.

*Потенціал на робочому місці* пов'язаний з напруженістю відомими співвідношеннями, однак, відсутність безпосереднього зв'язку з механізмом впливу поля на людину затрудняє використання цього критерію.

*Струм, який протікає через людину* (струм впливу), пов'язаний з напруженістю на поверхні тіла. Однак, цей струм менше від інших критеріїв відповідає механізму безпосереднього впливу поля, оскільки він залежить від розподілу поля на поверхні тіла, тобто, від напруженості, навіть на тих ділянках тіла, на які поле впливати не може.

Величина струму впливу залежить від розташування людини в електричному полі й при одній і тій же напруженості (тобто, при одному і тому ж ступені впливу) може бути різною.

Як основний критерій, що характеризує вплив електричного поля на людину, прийнята напруженість електричного поля на місці ВРН.

### **2.3 Розрахунок напруженості електричного поля в зоні впливу ЛЕП**

Електромагнітне поле існує навколо проводів ліній електропередач і струмопровідних частин розподільчих пристроїв. Воно заповнює весь простір від проводів до поверхні землі. Вплив його на рівні землі визначається номінальною напругою ПЛ, силою струму, який проходить по проводу, відстанями від струмопровідних частин до землі, конструкцією фази.

ПУЕ передбачають при проектуванні конструкцій опор, проводів і обладнання, що напруженість електричного поля не повинна

перевищувати нормованих значень. Санітарні норми і правила з захисту населення регламентують максимальну напруженість поля на висоті 1,8 м над землею. Так, при проєктуванні ПЛ напругою 1150 кВ напруженість електричного поля під проводами на висоті 1,8 м від землі не повинна перевищувати: для населеного пункту – 5 кВ/м; для перетинів з автомобільними шляхами всіх класів – 10 кВ/м; для незаселеної місцевості (пашні, поля) – 15 кВ/м; для важкодоступної місцевості і відгороджених ділянок, які не використовуються – 20 кВ/м.

Алгоритм розрахунку тримірною електричного поля в електроустановках базується на використанні методу еквівалентних зарядів. Головною особливістю методу є те, що розрахунок еліптично поляризованого електричного поля замінено розрахунком двох електростатичних полів  $E_1$  і  $E_2$ , геометрія яких така сама, як і у вихідного електричного поля. Так, в загальному випадку, проводи ПЛ можуть розміщуватись на будь-якій висоті над поверхнею землі ( $h$ ), яку доцільно в розрахунках напруженості поля прийняти однаковою (див. рис. 1.1). Потенціал людини відносно землі, а також струм, що протікає через людину, визначається вертикальною складовою напруженості поля.

Напруженість електричного поля нескінченно довгого прямо-лінійного провідника, зарядженого з однаковою густиною заряду по довжині  $\tau$ , виражається наступною залежністю [В/м]:

$$E = \frac{q}{2\pi\epsilon_0\epsilon m}, \quad (2.2)$$

де  $q$  – лінійна густина заряду проводу;  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м – електрична стала;  $m$  – найкоротша відстань від проводу до точки, в якій визначається напруженість.

Проводи фаз ПЛ розміщені поблизу плоскої поверхні провідного середовища, яким є земля. Тому поле ПЛ буде створюватися не лише зарядами проводів, а і зарядами їх дзеркальних відображень. При цьому вектор напруженості сумарного поля дорівнюватиме геометричній сумі векторів напруженостей полів всіх зарядів.

Розглянемо спочатку одну фазу ПЛ (А), прийнявши заряд проводу позитивним ( $q_{A+}$ ), а заряд його дзеркального відображення – негативним ( $q_{A-}$ ).

Модуль вектора напруженості:

$$E_{A(+)} = \frac{q_{A+}}{2\pi\epsilon_0\epsilon m_A}, \quad (2.3)$$

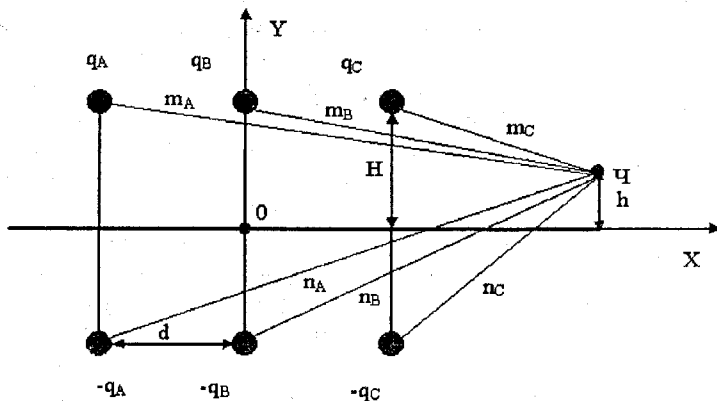


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема розміщення лінійних зарядів на лінії

де  $m_A$  – найкоротша відстань від точки «Ч» до проводу фази А.

Модуль вектора напруженості:

$$E_{A(-)} = \frac{q_{A-}}{2\pi\epsilon_0\epsilon n_A}, \quad (2.4)$$

де  $n_A$  – найкоротша відстань від точки «Ч» до дзеркального зображення проводу фази А.

Розкладемо вектори  $E_{A(+)}$  і  $E_{A(-)}$  на їх складові по горизонталі  $E_{A(+)\text{x}}$  і  $E_{A(-)\text{x}}$  та вертикалі  $E_{A(+)\text{y}}$  і  $E_{A(-)\text{y}}$ . В результаті отримаємо модулі цих векторів:

$$E_{A(+)\text{x}} = E_{A(+)} \cos\varphi_1 = E_{A(+)} \frac{x+d}{m_A}; \quad m_A = \sqrt{(x+d)^2 + (H-h)^2}; \quad (2.5)$$

$$E_{A(-)\text{x}} = E_{A(-)} \cos\varphi_2 = E_{A(-)} \frac{x+d}{n_A}; \quad n_A = \sqrt{(x+d)^2 + (H+h)^2}; \quad (2.6)$$

$$E_{A(+)\text{y}} = E_{A(+)} \sin\varphi_1 = E_{A(+)} \frac{H-h}{m_A}; \quad (2.7)$$

$$E_{A(-)\text{y}} = E_{A(-)} \sin\varphi_2 = E_{A(-)} \frac{H+h}{n_A}. \quad (2.8)$$

Далі, методом складання векторів  $E_{A(+)}x$  і  $E_{A(-)}x$ , отримаємо:

$$E_{Ax} = \left( \frac{E_{A(+)}}{m_A} - \frac{E_{A(-)}}{n_A} \right) (x+d) . \quad (2.9)$$

А складанням векторів  $E_{A(+)}y$  і  $E_{A(-)}y$ :

$$E_{Ay} = E_{A(+)} \frac{H-h}{m_A} + E_{A(-)} \frac{H+h}{n_A} . \quad (2.10)$$

Замінивши в (2.9) і (2.10)  $E_{A(+)}x$  і  $E_{A(-)}x$  виразами (2.3) і (2.4), відповідно, отримаємо:

$$\left. \begin{aligned} E_{Ax} &= \frac{q_A}{2\pi\epsilon_0\epsilon} \left( \frac{x+d}{m_A^2} - \frac{x+d}{n_A^2} \right); \\ E_{Ay} &= \frac{q_A}{2\pi\epsilon_0\epsilon} \left( \frac{H-h}{m_A^2} + \frac{H+h}{n_A^2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

Розглянуті ПЛ змінного струму, тому заряд проводу  $q_A$  та напруженості  $E_{Ax}$  і  $E_{Ay}$  є синусоїдними функціями часу, тобто їх можна представити комплексними величинами.

Для перетворення рівнянь (2.11) в комплексну форму врахуємо, що

$q_A = C_A \dot{U}_A$ , тоді:

$$\left. \begin{aligned} E_{Ax} &= \frac{C_A \dot{U}_A}{2\pi\epsilon_0\epsilon} \left( \frac{x+d}{m_A^2} - \frac{x+d}{n_A^2} \right) = \frac{C_A \dot{U}_A}{2\pi\epsilon_0\epsilon} k_1; \\ E_{Ay} &= \frac{C_A \dot{U}_A}{2\pi\epsilon_0\epsilon} \left( \frac{H-h}{m_A^2} + \frac{H+h}{n_A^2} \right) = \frac{C_A \dot{U}_A}{2\pi\epsilon_0\epsilon} k_2 \end{aligned} \right\} , \quad (2.12)$$

де  $C_A$  – ємність фази А відносно землі на одиницю довжини:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon}{2H d} , \quad (2.13)$$

$$\ln \frac{r_{\text{екв}}}{\sqrt{(4H^2 + d^2)} \sqrt{H^2 + d^2}}$$

$$H = H_{\Pi} - \frac{2}{3}f = \frac{1}{3}(H_{\Pi} + 2H_0);$$

$H_0$  – габарит фазного проводу;  $U_A$  – комплекс напруги фази А відносно землі (ефективне значення фазної напруги);  $k_1, k_2$  – коефіцієнти.

Аналогічно можна одержати формули для визначення горизонтальних та вертикальних складових фаз В та С:

$$\left. \begin{aligned} E_{Vx} &= \frac{C_B U_B}{2\pi\epsilon_0\epsilon} \left( \frac{x+d}{m_B^2} - \frac{x+d}{n_B^2} \right) = \frac{C_B U_B}{2\pi\epsilon_0\epsilon} k_3; \\ E_{Vy} &= \frac{C_B U_B}{2\pi\epsilon_0\epsilon} \left( \frac{H-h}{m_B^2} + \frac{H+h}{n_B^2} \right) = \frac{C_B U_B}{2\pi\epsilon_0\epsilon} k_4; \\ E_{Cx} &= \frac{C_C U_C}{2\pi\epsilon_0\epsilon} \left( \frac{x+d}{m_C^2} - \frac{x+d}{n_C^2} \right) = \frac{C_C U_C}{2\pi\epsilon_0\epsilon} k_5; \\ E_{Cy} &= \frac{C_C U_C}{2\pi\epsilon_0\epsilon} \left( \frac{H-h}{m_C^2} + \frac{H+h}{n_C^2} \right) = \frac{C_C U_C}{2\pi\epsilon_0\epsilon} k_6 \end{aligned} \right\} \quad (2.14)$$

Горизонтальні і вертикальні складові напруженості сумарного поля, тобто обумовлені зарядами всіх фаз ПЛЕП і їх дзеркальними зображеннями, будуть:

$$\left. \begin{aligned} E_x &= E_{Ax} + E_{Vx} + E_{Cx}; \\ E_y &= E_{Ay} + E_{Vy} + E_{Cy} \end{aligned} \right\} \quad (2.15)$$

Необхідно врахувати, що для ПЛЕП з горизонтальним розташуванням проводів  $C_A=C_B=C_C=C$ , а крім того, для симетричної трифазної системи  $U_A=U_{\Phi}$ ;  $U_B=a^2 U_{\Phi}$ ;  $U_C=a U_{\Phi}$  (де  $U_{\Phi}$  – фазна напруга ПЛ,  $a$  – фазовий оператор).

Після врахування вищенаведеного, отримаємо:

$$\left. \begin{aligned} E_x &= \frac{CU_\phi}{2\pi\epsilon_0\epsilon} (k_1 + a^2k_3 + ak_5) \\ E_y &= \frac{CU_\phi}{2\pi\epsilon_0\epsilon} (k_2 + a^2k_4 + ak_6) \end{aligned} \right\} \quad (2.16)$$

Виконуючи алгебраїчні перетворення, матимемо в дійсній формі:

$$\left. \begin{aligned} E_x &= \frac{CU_\phi}{2\pi\epsilon_0\epsilon} \sqrt{(2k_1 - k_3 - k_5)^2 + 3(k_3 - k_5)^2} \\ E_y &= \frac{CU_\phi}{2\pi\epsilon_0\epsilon} \sqrt{(2k_2 - k_4 - k_6)^2 + 3(k_4 - k_6)^2} \end{aligned} \right\} \quad (2.17)$$

Результуюча напруженість ЕП в точці «Ч» буде:

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} = \frac{CU_\phi}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \sqrt{(2k_1 - k_3 - k_5)^2 + 3(k_3 - k_5)^2 + (2k_2 - k_4 - k_6)^2 + 3(k_4 - k_6)^2} \quad (2.18)$$

З вище наведеного прослідковується тісний зв'язок між параметрами лінії. На рис. 2.2 наведено залежності зміни напруженості електричного поля вздовж ПЛЕП 1150 кВ при різних значеннях габариту. Розрахунок габариту лінії визначає в більшості її конструктивні особливості при проектуванні. Зниження напруженості поля під ПЛ дозволяє створювати компактні лінії напругою 220 – 500 кВ. Для ПЛ 1150 кВ і вище створення компактних ліній призводить до значного зменшення необхідного габариту до землі, але, все ж таки, він залишається великим, особливо для населених пунктів. У зв'язку з цим, для ПЛ 1150 кВ і вище є актуальною задача розробки заходів з обмеження напруженості поля вздовж всієї лінії електропередачі.

Розрахунки показують (додаток А), що для лінії 1150 кВ і вище при будь-якій висоті підвісу, абсолютні максимуми напруженості поля знаходяться зовні міжфазного простору і розміщені на відстані 1 – 3 м від проекції крайньої фази на землю. Збільшення висоти підвісу дає значне зниження напруженості, при цьому максимуми напруженості зміщуються ще далі від проекції крайніх фаз на землю (рис. 2.2). Одночасно спостерігається незначне зростання напруженості поля, приблизно, на 0,05 кВ/м на кожний метр зміни висоти в міжфазному просторі поблизу осі лінії.

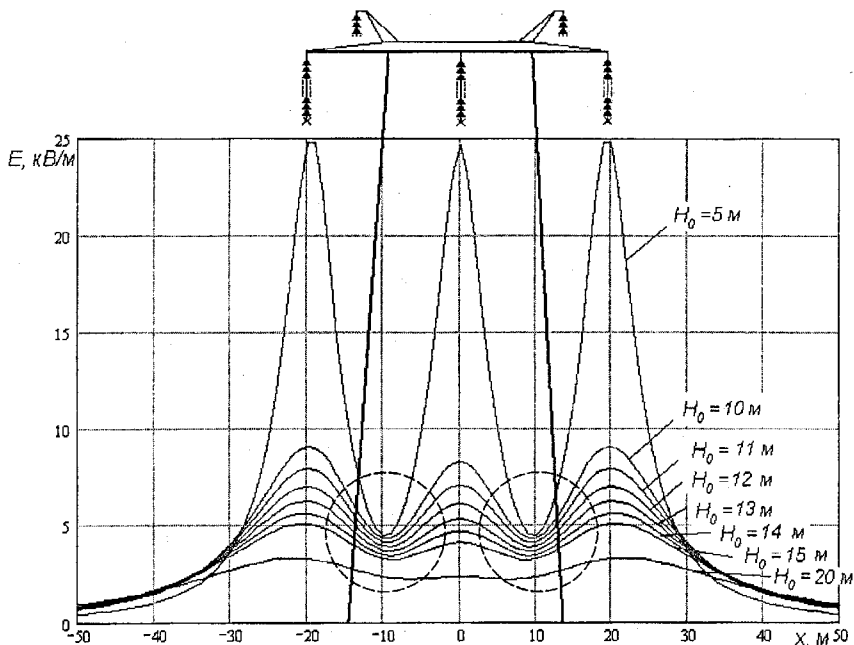


Рисунок 2.2 – Розподіл напруженості ЕП під проводами ПЛ напругою 750кВ в місці їх максимального провисання на рівні 1,8 м від поверхні землі

В міру віддалення від проводів в сторону траси лінії напруженість електричного поля знижується. Зона, в якій напруженість електричного поля перевищує 5 кВ/м, називається зоною впливу [17].

При обходах ЛЕП доцільно опори і кріплення проводів оглядати, знаходячись в безпосередній близькості до стояків опор, де величина напруженості ЕП має мінімальне значення (див. рис.2.2, зона виділена пунктиром). При огляді проводів в прогоні ПЛ напругою 750 кВ необхідно проходити по трасі лінії на відстані від проекції крайнього проводу на землю не ближче 20 м.

При підйомі вгору напруженість ЕП суттєво зростає (див. рис.2.3), досягаючи свого максимального значення на рівні проводів (наближення до проводів знизу).

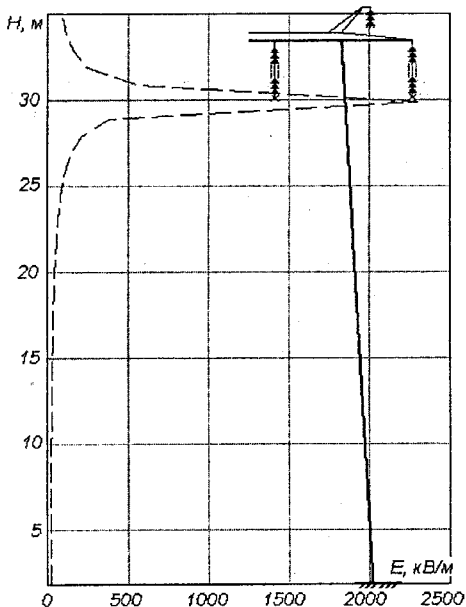


Рисунок 2.3 – Зміна напруженості ЕП при підйманні по опорах до рівня проводів ПЛЕП напругою 750 кВ

Вимірюваннями, які виконані на стенді, встановлено, що напруженість на поверхні манекена, який імітує розміри середньої людини і прикріплений до проводів, змінюється в межах від 180 до 2500 кВ/м [8]. Наші розрахунки дали близькі до цих величин результати (додаток В).

Важливим фактом, який необхідно враховувати при ВРН, є різке зниження напруженості в міру віддалення від проводів. Вже на відстані 0,5 м напруженість ЕП на порядок нижча, ніж на проводах. Тому при ВРН не слід зайвий раз наближатися до проводів або залишати ізоляційні пристрої в контакті з проводом.

Враховуючи високі рівні напруженості, зрозуміло, що ВРН на проводі без використання спеціальних засобів та приладів захисту, неможливе.

## 2.4 Вплив на людину електричних розрядів в місці ВРН

На людину, яка виконує роботи в електроустановках високої напруги в контакті з струмопровідними частинами, безпосередньо впливає електричне поле напруженістю  $E$ , а також струм зміщення. Якщо людина

знаходиться на землі під фазним проводом (рис. 1.4), то струм, який протікає через неї:

$$I_{Л} = I'_{Л} + I''_{Л} = jU_{\phi} 2\pi f \frac{C_A \cdot C_{Л}}{C_A + C_{Л}}, \quad (2.19)$$

де  $I'_{Л}$  – струм, зумовлений ємністю  $C_A$ ;  $I''_{Л}$  – струм, зумовлений ємністю  $C_{Л}$ ;  $U_{\phi}$  – фазна напруга ПЛІ;  $C_A$  – ємність між людиною і найближчою фазою ПЛІ;  $C_{Л}$  – людиною і землею;  $f$  – частота змінного струму.

При цьому вплив сусідніх фаз не враховується, тому що ємнісний зв'язок людини, при роботі під напругою на деякій фазі, з сусідніми фазами значно менший і ним можна знехтувати.

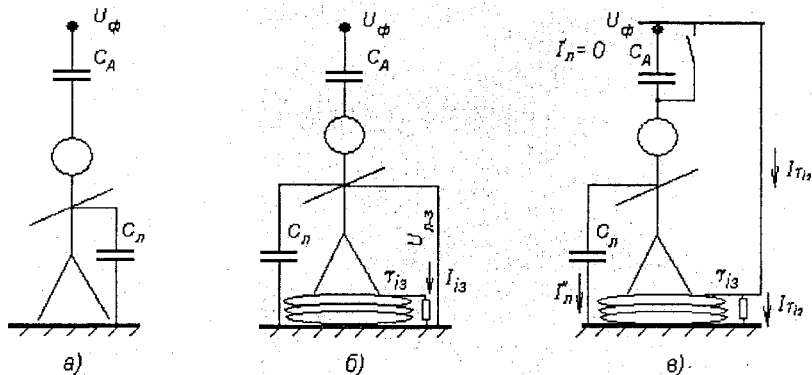


Рисунок 2.4 – Заступні схеми у випадках знаходження людини під фазним проводом, при наявності електричного зв'язку людини з землею, і при знаходженні людини на ізолювальній основі

При напруженості електричного поля  $E \approx 5 \text{ кВ/м}$ , струм  $I_{Л} \leq 0,1 \text{ мА}$ . Для порівняння можна сказати, що людина здатна відчувати змінний струм частотою 50 Гц силою 0,05 мА [22]. Неприємні відчуття викликає струм 5-15 мА; при струмі 0,1 А можливі судоми і фібриляція серця. Якщо людина знаходиться на поверхні землі, то струм, який проходить через неї, визначається, в основному, ємністю її відносно фази ПЛІ  $C_A$ , тому що ємність  $C_{Л}$  значно (в сотні разів) більша за  $C_A$  [23]. Отже, величину струму, який протікає через тіло людини, можна визначити за формулою:

$$I'_{Л} \approx I_{Л} = jU_{\phi} 2\pi f C_A; I''_{Л} \approx 0. \quad (2.20)$$

Поблизу опори ПЛ напругою 750 кВ напруженість електричного поля менша 5 кВ/м, тому людина, яка стоїть біля опори, зазвичай не відчуває струму, що протікає через її тіло. Якщо тепер уявити, що людина за допомогою якогось ізолювального пристрою буде наближатись до проводів ПЛ, що знаходяться під напругою, то через неї, в міру зменшення відстані до проводів, буде протікати все більший струм.

Збільшення струму, який протікає через людину, пояснюється зростанням струму ємності людини відносно землі, а також струму провідності ізолювального пристрою (рис. 2.4б). При торканні людини до проводів (рис. 2.4в) через її тіло протікає струм, обумовлений її ємністю, відносно землі  $C_{Л}$ , і провідністю ізолювального пристрою:

$$I_{Л} \approx jU_{\phi}(2\pi fC_{Л} + \gamma_{із}), \quad (2.21)$$

де  $\gamma_{із}$  – провідність ізолювального пристрою.

В цьому випадку ємність  $C_{А}$  шунтується, а струм провідності ізолювального пристрою визначається фазною напругою мережі і провідністю ізоляції.

Струм, виміряний при дослідях на стенді, при  $U_{\phi} = 433$  кВ, складав 5 – 6 мА. Такий струм не може призвести до ураження людини, однак викликає неприємні больові відчуття. Довготривала дія такого струму на людину не припустима. Тому при ВРН необхідно вжити заходи для зниження струму, який протікає через тіло працюючого.

Зазвичай під час ВРН застосовується з'єднання основи ізолювального пристрою, на якому стоїть людина, з проводом (див. рис. 2.4в). В цьому випадку струм, обумовлений провідністю ізолювального пристрою, шунтується, а через людину тече струм, обумовлений його власною ємністю  $C_{Л}$ , відносно землі. Але при цьому струм через людину в електроустановках напругою 750 кВ складає 2,5...2,8 мА, що вище межі відчуття. Тому при ВРН в електроустановках напругою 220 кВ і вище для електробезпеки людини необхідно вживати заходи з запобігання проходження струму крізь тіло працюючого, чи зниження його до допустимих значень.

При відсутності електричного зв'язку людини з землею, тобто, коли вона знаходиться на ізолювальній основі, між тілом людини, яка знаходиться в електричному полі, і землею існує різниця потенціалів (див. рис. 2.4б):

$$U_{Л-З} = U_{\phi} \frac{C_{А}}{C_{А} + C_{Л}}. \quad (2.22)$$

Під лінією електропередачі напругою 750 кВ при  $C_A \approx 1$  пФ,  $C_{Л} \approx 100$  пФ,  $U_{\phi} = 433$ кВ, а напруга  $U_{Л-3} \approx 4$  кВ.

Якщо людина торкнеться заземленої конструкції, то заряд, який був на її тілі, стече на „землю” через іскровий розряд. Струм розряду залежить від напруги  $U_{Л-3}$  і опору шляху розряду :

$$I_{Л-3} = \frac{U_{Л-3}}{R_{розр}} \quad (2.23)$$

Опір в колі розряду  $R_{розр}$  визначається перехідним опором шкіри людини у місцях контакту з заземленою конструкцією, а також опорами тіла людини і заземлення. Опір в колі розряду в реальних умовах може змінюватись в широких межах від 500 до 60000 Ом [23], тому амплітуда розрядного імпульсу струму  $I_{\max Л-3}$  може досягати десятків ампер. Розрядні імпульси можуть викликати неприємні больові відчуття, особливо при розряді на незахищену поверхню тіла, тому що при цьому весь струм проходить через невелику (точкову) його ділянку на руці, нозі, носі і т.д. Такі неприємні розряди відчуваються при переміщенні під проводами ПЛІ чи у ВРП, коли випадково торкнутися трави чи заземлених предметів, а також при дотику до заземлених конструкцій, наприклад, до опори ПЛ.

В електричному полі заряд може накопичуватись на провідних конструкціях, ізольованих від землі. Торкаючись їх, можна отримати неприємні больові відчуття. Особливо небезпечні дотики до автомашин, тракторів, комбайнів на гумових колесах. Зазначена напруга, в цьому випадку, небезпечна для життя людини. Необхідно слідкувати за тим, щоб при роботі в межах ВРП або поблизу ПЛІ кузови таких машин були постійно заземлені спеціальними заземлювачами.

Розряд під впливом сильного електричного поля може виникнути ще до дотику людини до заземленої конструкції. Наприклад, при наближенні руки до металевого стояка опори, під дією напруги  $U_{Л-3}$  може відбутися електричне пробивання повітряного зазору між рукою і стояком опори. В залежності від швидкості наближення руки до стояка опори, розрядні імпульси можуть виникати неодноразово в міру зменшення відстані вже при меншій напрузі. Зазвичай при першому розряді рука мимоволі відсмикується від стояка опори, а потім при її наближенні розряди виникають знову. Форма імпульсу струму визначається за формулою:

$$I = I_{\max Л-3} \cdot e^{-t/T_p}, \quad (2.24)$$

де  $T_p$  – постійна часу розряду – визначається емпіричним зв'язком людини з землею і заземленими конструкціями  $C_{Л-З}$ , а також опором в колі розряду  $T_p = C_{Л-З} \cdot R_{розр}$ .

В процесі ВРН працюючий вимушений наблизитися до заземлених конструкцій, що знаходяться в електричному полі. При цьому іскрові розряди можуть викликати сильні больові відчуття.

Експерименти показали [23], що імпульсні розряди, які виникають при напруженості електричного поля до 50 кВ/м, не можуть призвести до ураження людини. Однак, больові дії розрядних струмів неприпустимі при роботах під напругою, тим більше, що людина працює на великій висоті і вплив струмів розряду може призвести до створення невпевненості людини в своїй безпеці і вплинути на нервовий стан. Часті розряди, які супроводжуються больовими відчуттями, можуть і самостійно впливати на організм людини, викликаючи при цьому фазову зміну електричної активності кори головного мозку. При цьому початкове збудження змінюється різким гальмуванням. Може порушитися регуляція ритму дихання і роботи серця [24]. Допустима напруженість ЕП, при якій 80 % людей не відчувають болю при розрядах, дорівнює 5,18 кВ/м.

Особливим режимом є вихід людини на потенціал проводу. При наближенні людини до проводу напруженість електричного поля, в якому вона знаходиться, збільшується. При безпосередньому наближенні до проводу відбувається пробивання іскрового проміжку. Напряга на людині різко збільшується від величини  $U_{Л-З}$  до  $U_\phi$ . Струм розряду визначається за формулою:

$$I_p = I_{\max Л-П} \cdot e^{-t/T_p}, \quad (2.25)$$

де  $T_p = C_{Л-П} \cdot Z_{розр}$  – стала часу розряду;  $I_{\max Л-П}$  – амплітуда струму розряду;  $C_{Л-П}$  – ємність людини відносно проводу;  $Z_{розр}$  – опір шляху розряду.

Максимальне значення струму розряду  $I_{\max Л-П}$  на ПЛ напругою 750 кВ може сягати сотні ампер. Такий струм викликає сильні больові відчуття і не дає змоги без засобів захисту вийти на провід ПЛ. Іскрові розряди є другим видом впливу електричного поля на людину, від якого необхідний захист при проведенні робіт під напругою.

## 2.5 Аналіз напруг дотику і кроку

При наявності великих градієнтів поля на поверхні землі можливе виникнення різниці потенціалів між ступнями людини. Так, при ОКЗ

можливе виникнення напруги дотику та напруги кроку, які можуть уразити людину (див. рис. 2.5).

Напругу дотику можна розрахувати:

$$U_{\text{дот}} = \varphi_{\text{к}} - \varphi_{\text{х}} = I_3 R_3 - \left( \frac{I_3 \rho}{2\pi x} \right) = I_3 \left( R_3 - \frac{\rho}{2\pi x} \right) = \varphi_{\text{к}} \alpha_1 \alpha_2, \quad (2.26)$$

де  $\varphi_{\text{к}}$  – потенціал корпусу заземлювача ( $\varphi_{\text{к}} = I_3 R_3$ );  $\alpha_1$  – коефіцієнт напруги дотику, залежить від виду кривої розподілення потенціалів і відстані від заземлювача;  $\alpha_2$  – коефіцієнт, який враховує зниження напруги на додаткових опорах (взуття та опорної поверхні ніг).

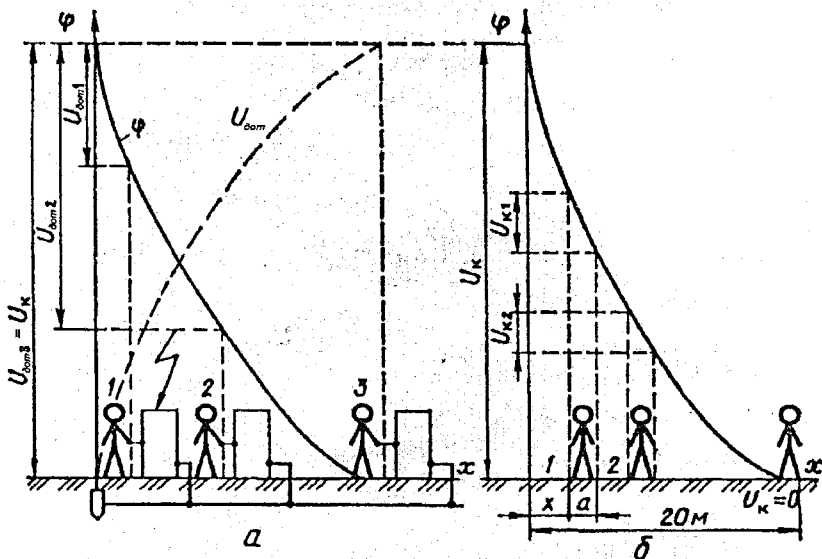


Рисунок 2.5 – Напруга дотику (а) і напруга кроку (б)

Струм  $I_{\text{л}}$ , який протікає через тіло людини, буде дорівнювати:

$$I_{\text{л}} = (\varphi_{\text{к}} \alpha_1 \alpha_2) / R_{\text{к.л.}} = (I_3 R_3 / R_{\text{к.л.}}) \alpha_1 \alpha_2, \quad (2.27)$$

де  $R_{\text{к.л.}}$  – опір кола людини,

$$R_{\text{к.л.}} = R_{\text{т.л.}} + R_{\text{од.}} + R_{\text{вз.}} + R_{\text{оп.}},$$

$R_{\text{т.л.}}$  – опір тіла людини;  $R_{\text{од.}}$  – опір одягу;  $R_{\text{вз.}}$  – опір взуття;  $R_{\text{оп.}}$  – опір опорної поверхні (підлоги, ґрунту) ніг.

Напруга кроку дорівнює різниці потенціалів точок, в яких знаходяться ноги людини:

$$U_{\text{кр}} = (I_3 \rho / 2\pi)(a/x(a+x)) = \varphi_3 \beta_1 \beta_2, \quad (2.28)$$

де  $a$  – довжина кроку (приймається 0,8 м);  $\varphi_3 = I_3 R_3$  – потенціал на заземлювачі;  $\beta_1$  – коефіцієнт напруги кроку;  $\beta_2$  – коефіцієнт, який враховує зниження напруги на додаткових опорах.

Струм  $I_{\text{л}}$ , який протікає через тіло людини при дії напруги кроку, буде дорівнювати:

$$I_{\text{л}} = \varphi_3 \beta_1 \beta_2 / R_{\text{к.л}} = (I_3 R_3 / R_{\text{к.л}}) \beta_1 \beta_2. \quad (2.29)$$

Вимірювання напруги кроку під ЛЕП 750 кВ, яка виникає від впливу електричного поля, показали, що її значення не перевищує в нормальному режимі 0,1 В. Для захисту від напруги кроку і напруги дотику, які можуть виникнути при пошкодженні ізоляції і перекриттях на опорі, необхідно при випробуванні пристроїв для ВРН віддаляти членів бригади від опор на 8 – 10 м. Низовим електромонтерам рекомендується застосовувати діелектричні черевики.

## 2.6 Корона і її вплив на висотного електромонтера

Корона – один із видів самостійного розряду в газах в надзвичайно нерівномірних полях  $K_n \geq 3$ . В таких полях при НЕП, яка відповідає умові самостійності, стримери не можуть перекрити всього простору між електродами і іонізація обмежується вузькою зоною поблизу електрода з малим радіусом кривизни. Ця зона має назву – чохол корони.

Іонізація та одночасні з нею процеси рекомбінації і дезбудження відбуваються з випромінюванням великої кількості квантів світла. Ось чому чохол корони світиться, створюючи навколо електрода свосереднє сяйво.

Іони, які утворюються в чохлі корони, під дією НЕП пересуваються у зовнішню зону, що супроводжується проходженням струму в колі джерела.

При зростанні напруги окремі стримери, з яких складається чохол корони, поступово зростають, збільшується кількість іонів в проміжку і зростає струм корони. Залежність коронного струму від напруги є однією з основних електричних характеристик коронного розряду.

Цікаво з'ясувати, на яку відстань  $r$  за півперіоду промислової частоти віддаляється об'ємний заряд.

Вважаємо, що НЕП на поверхні проводу протягом всього півперіоду незмінна і дорівнює критичній, а в зовнішньому просторі зберігається умова:

$$E \cdot r = \text{const}, \text{ або } E = E_k \frac{r_0}{r}.$$

Швидкості пересування іонів

$$V = \frac{dr}{dt} = kE = kE_k \frac{r_0}{r}, \quad (2.30)$$

де  $k$  – рух іонів, є постійною величиною.

Тому:

$$dt = \frac{r dr}{kE_k r_0}. \quad (2.31)$$

Інтегрування в межах півперіоду  $T/2$  дозволяє отримати:

$$\frac{T}{2} = \frac{r_{\max}^2 - r_0^2}{2kE_k r_0}. \quad (2.32)$$

Зазвичай  $r_{\max}^2 \gg r_0^2$ , тому найбільше віддалення об'ємного заряду від осі коронувального проводу можна визначити за формулою:

$$r_{\max} \approx \sqrt{T \cdot kE_k \cdot r_0}. \quad (2.33)$$

Якщо  $T=0.02$  с;  $r_0=1.25$  см;  $k=1.8 \frac{\text{см/с}}{\text{В/см}}$ ;  $E_k=36$  кВ/см, то

$$r_{\max} = \sqrt{0.02 \cdot 1.8 \cdot 36 \cdot 10^3 \cdot 1.25} = 36\sqrt{1.25} \approx 40 \text{ см.}$$

Таким чином, руки висотного електромонтера знаходяться повністю в об'ємному заряді коронувального проводу.

Вимірювання і теоретичні розрахунки показали, що поряд із пульсуючим навколо кожного проводу зарядом є невелика частина заряду, яка поступово зміщується до землі і сусідньої фази [28].

Гігієнічні норми, наведені в табл. 2.1 [24], розроблені з урахуванням умов роботи персоналу електроустановок 500, 750, 1150 кВ. Вони встановлюють припустиму (з погляду й безпосереднього впливу)

тривалість перебування протягом доби в електричному полі різної напруженості без засобів захисту й пропонують вживання заходів для виключення впливу електричних розрядів.

Гігієнічні норми встановлюють граничне значення напруженості 5 кВ/м. При  $E \leq 5$  кВ/м робота не обмежується з погляду впливу поля ні за часом, ні за характером. Як вже зазначалось вище, простір, у якому  $E > 5$  кВ/м, називається зоною впливу. Несприятливий вплив електричного поля й розрядів проявляється тільки в цій зоні.

Таблиця 2.1 – Гігієнічні норми для ВРН в електроустановках напругою 500 – 1150кВ

№ п/п	Напруженість електричного поля, кВ/м	Допустима тривалість перебування персоналу протягом доби в електричному полі, хв
1	5	не обмежена
2	10	180
3	15	90
4	20	10
5	25	5

Примітки. Норми з пп. 2-5 дійсні, якщо:

- решту часу людина знаходиться в місцях, де напруженість електричного поля менша або рівна 5 кВ/м;
- виключена можливість впливу електричних розрядів.

Максимальне значення напруженості, при якому ще допускається перебування в електричному полі без засобів захисту, – 25 кВ/м. Якщо на даному робочому місці  $E > 25$  кВ/м або умови безпечного проведення робіт не відповідають вимогам табл. 1.1, то роботи виконуються з застосуванням засобів захисту. Зазвичай для визначення умов праці на діючих підстанціях роблять вимірювання напруженості та порівнюють отримані дані з гігієнічними нормами. У тих випадках, коли такі вимірювання не можуть бути проведені, орієнтуються на регламентовані відстані проміжків від струмопровідних частин, що перебувають під напругою, до меж зони впливу [24], які становлять на підстанціях 500 кВ – 20 м, на підстанціях 750 кВ – 30 м, а на підстанціях 1150 кВ – 40 м.

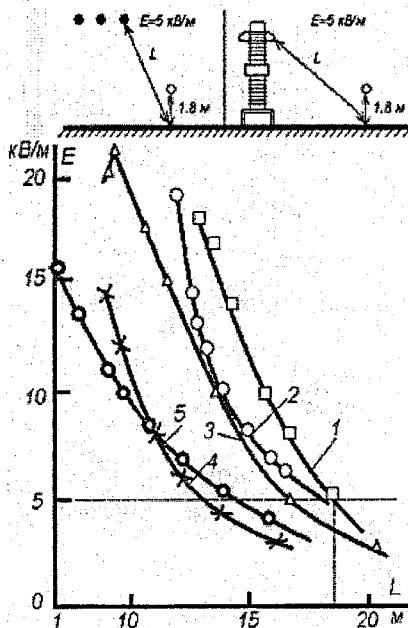


Рисунок 2.6 – Залежність напруженості від відстані до струмопровідних частин обладнання та шин:

- 1 – біля повітряного вимикача ВВБ-500; 2 – біля повітряного вимикача ВВ-500; 3 – на дорогах; 4 – біля трансформатора струму; 5 – біля роз'єднувача

Спосіб визначення зазначених відстаней ілюструє рис. 2.6. На ньому наведені залежності напруженості від відстані до струмопровідних частин і показано, як вони визначалися. Вимірювання проводились при віддаленні вимірювальних приладів у бік вільного простору від крайніх фаз крайніх комірок (у тому числі по дорозі). Точка перетинання кривих з абсцисою  $E = 5$  кВ/м визначає межу зони впливу.

## 2.7 Вплив електромагнітного поля лінії електропередачі на людей, тваринний і рослинний світ

Біологічний вплив електричних і магнітних полів на організми людей і тварин досить багато досліджувався. Ефекти, які виникають при цьому, якщо вони виникають, дотепер не зрозумілі й важко піддаються визначенню, тому ця тема залишається, як і раніше, актуальною.

Магнітні поля на нашій планеті мають двоє походження – природне й антропогенне. Природні магнітні поля, так звані магнітні бурі, зароджуються в магнітосфері Землі. Антропогенні магнітні збурювання охоплюють меншу територію, ніж природні, проте їх прояв значно інтенсивніший, а отже, приносить і більш відчутний збиток. У результаті технічної діяльності людина створює штучні електромагнітні поля, які в сотні разів сильніші від природного магнітного поля Землі. Джерелами антропогенних випромінювань є: потужні радіопередавальні пристрої, електрифіковані транспортні засоби, лінії електропередачі (див. рис. 2.7).

Один з найбільш сильних збудників електромагнітних хвиль - струм промислової частоти (50 Гц). Так, напруженість електричного поля

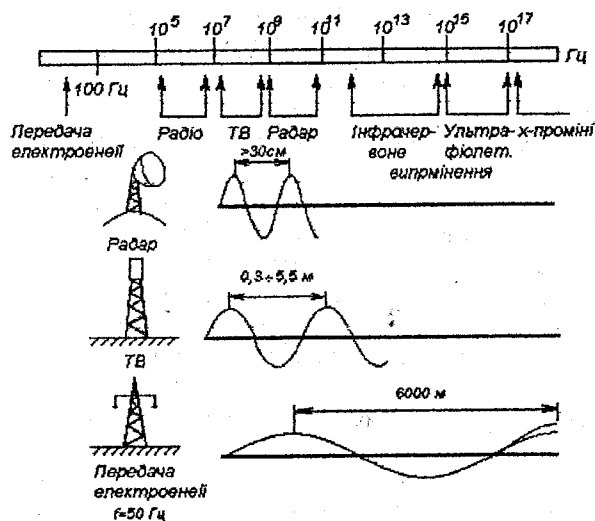


Рисунок 2.7 – Частотний діапазон і довжини хвиль деяких джерел електромагнітного випромінювання

безпосередньо під лінією електропередачі може досягати декількох тисяч вольтів на метр ґрунту, хоч через властивість зниження напруженості ґрунтом уже при віддаленні від лінії на 100 м напруженість різко знижується до декількох десятків вольтів на метр.

Дослідження біологічного впливу електричного поля виявили, що вже при напруженості 1 кВ/м воно впливає на нервову систему людини, що, у свою чергу, призводить до порушень ендокринної системи й обміну речовин в організмі (міді, цинку, заліза й кобальту), порушує фізіологічні функції: ритм серцевих

скорочень, рівень кров'яного тиску, активність мозку, хід обмінних процесів й імунну активність.

Починаючи з 1972 р. з'явилися публікації, у яких розглядався вплив на людей і тварин електричних полів з величинами напруженості більше 10 кВ/м.

Напруженість магнітного поля пропорційна струму й обернено пропорційна відстані; напруженість електричного поля пропорційна напрузі (заряду) і обернено пропорційна відстані. Параметри цих полів залежать від класу напруги, конструктивних особливостей і геометричних розмірів високовольтної ЛЕП. Поява потужного й протяжного джерела електромагнітного поля приводить до зміни тих природних факторів, при яких сформувалася екосистема.

Електричні й магнітні поля можуть індукувати поверхневі заряди й струми в тілі людини (див. рис. 2.8). Дослідження показали, що максимальний струм у тілі людини, індукований електричним полем, набагато вищий, ніж струм, викликаний магнітним полем. Так, шкідливий вплив магнітного поля проявляється лише при його напруженості близько 200 А/м, що буває на відстані 1 - 1,5 м від проводів фази лінії і є небезпечним тільки для обслуговуючого персоналу при роботах під напругою. Ця обставина дозволила зробити висновок про відсутність біологічного впливу магнітних полів промислової частоти на людей і тварин, які перебувають під ЛЕП. Таким чином, електричне поле ЛЕП є головним біологічно діючим фактором протяжної електропередачі, що може виявитися бар'єром на шляху міграції різних видів водної й сухопутної фауни.

Виходячи з конструктивних особливостей електропередачі (привисання проводу), найбільший вплив поля проявляється в середині прогону, де напруженість для ліній над- і ультрависокої напруги на рівні зросту людини становить 5–20 кВ/м і вище, залежно від класу напруги й конструкції лінії (див. рис. 2.6). На опорах, де висота підвішування проводів найбільша і присутній вплив екранувальної дії опор, напруженість поля найменша. Якщо під проводами ЛЕП можуть перебувати люди, тварини, транспорт, то виникає необхідність з'ясування можливих наслідків тривалого й короточасного перебування живих істот в електричному полі різної напруженості. Найбільш чутливі до впливів електричних полів копитні тварини й людина в ізолювальному взутті. Копито тварини також є добрим ізолятором. Наведений потенціал, у цьому випадку, може сягати 10 кВ, а імпульс струму через організм, при торканні до заземленого предмета (гілки куща, травинки), 100 – 200 мкА. Такі імпульси струму безпечні для організму, але неприємні відчуття змушують копитних тварин уникати траси високовольтних ЛЕП у літню пору [26].

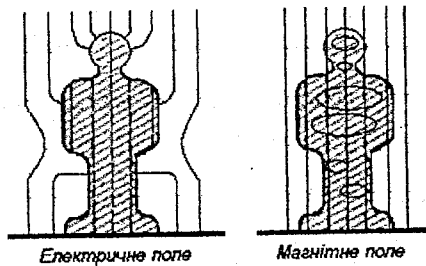


Рисунок 2.8 – Силкові лінії електричного та магнітного полів, що впливають на людину, яка стоїть під ПЛІ змінного струму

При дії електричного поля на людину домінуючу роль відіграють струми, які протікають через її тіло. Це визначається високою провідністю тіла людини, де переважають органи з циркуляцією в них крові й лімфи. На основі експериментів, проведених на тваринах і людях-добровольцях, встановлено, що щільність струму провідністю  $0,1 \text{ мкА/см}^2$  і нижче не впливає на роботу мозку, тому що імпульсні біоструми, які зазвичай протікають у мозку, істотно перевищують щільність такого струму провідності. При  $j > 1 \text{ мкА/см}^2$  в очах людини спостерігається миготіння світлових кіл, більш високі щільності струмів уже охоплюють граничні значення стимуляції сенсорних рецепторів, а також нервових і м'язових клітин, що призводить до появи переляку, мимовільних рухових реакцій. У випадку торкання людини до ізолюваного від землі об'єкта у зоні електричного поля значної інтенсивності, щільність струму в зоні серця значно залежить від стану «підстилаючих» умов, (виду взуття, стану ґрунту й т.д.), але вже може сягати небезпечних величин.

При максимальному струмі, який відповідає  $E_{\text{max}} = 15 \text{ кВ/м}$  ( $6,225 \text{ мА}$ ); відомій частці цього струму, що проходить через зону голови (близько  $1/3$ ), і площі голови (близько  $100 \text{ см}^2$ ) щільність струму  $j < 0,1 \text{ мкА/см}^2$ , це й підтверджує допустимість прийнятої напруженості  $15 \text{ кВ/м}$  під проводами повітряної лінії.

При захисті здоров'я людини проблема виникає у визначенні зв'язку між щільністю струму, що є в тканинах, і магнітною індукцією зовнішнього поля,  $B$ . Обчислення густини струму за формулою:

$$J_B = \pi R \gamma iB \quad (2.34)$$

ускладнюється тим, що точний шлях проходження струму залежить від розподілу провідності  $\gamma$  в тканинах тіла [29].

Питому провідність мозку визначають  $\gamma = 0,2$  см/м, а серцевого м'язу  $\gamma = 0,25$  см/м. Якщо прийняти радіус голови 7,5 см, а серця 6 см, то добуток  $f$  виходить однаковим в обох випадках. Тому можна давати одне визначення для щільності струму на периферії серця й мозку.

Визначено, що безпечна для здоров'я магнітна індукція становить близько 0,4 мТл при частоті 50 або 60 Гц. У магнітних полях (від 3 до 10 мТл;  $f = 10 - 60$  Гц) спостерігалось виникнення світлових мерехтінь, аналогічних тим, які виникають при натисканні на очне яблуко.

Щільність струму, індукованого в тілі людини електричним полем з величиною напруженості  $E$ , обчислюється так:

$$J_E = kE \quad , \quad (2.35)$$

з різними коефіцієнтами  $k$  для зон мозку й серця. Значення  $k = 3 \cdot 10^{-3}$  см/Гц·м. За даними вчених ФРН напруженість поля, при якій вібрацію волосся відчують 5% досліджуваних чоловіків, становить 3 кВ/м і для 50% чоловіків, які пройшли дослідження випробуванням, вона дорівнює 20 кВ/м. На даний час відсутні дані про те, що відчуття, викликані дією поля, створюють будь-який несприятливий вплив. Що стосується зв'язку щільності струму з біологічним впливом, то можна виділити чотири зони, представлені в табл. 2.2. Остання зона значення щільності струму відноситься до часу впливу порядку одного серцевого циклу, тобто приблизно 1 сек для людини. Для більш коротких експозицій граничні значення вищі.

Таблиця 2.2 – Результати впливу електричного струму на людину

$J$ , мкА/см <sup>2</sup>	Ефекти, які спостерігаються
0,1	відсутні
1,0	Мерехтіння світлових кіл в очах
10-50	Гострі невралгічні симптоми схожі на ті, які виникають під дією електричного струму
більше 100	Збільшується вірогідність фібриляції шлуночка серця, припинення серцевої діяльності, тривалий спазм м'язів органів дихання, значні опіки

Для визначення граничного значення напруженості поля були виконані фізіологічні дослідження на людях у лабораторних умовах при напруженості від 10 до 32 кВ/м. Встановлено, що при напруженості 5 кВ/м 80% людей не відчують болю при розрядах у випадку торкання

заземлених предметів. Саме ця величина була прийнята за нормативну при роботах в електроустановках без застосування засобів захисту.

Залежність припустимого часу перебування людини в електричному полі з напруженістю  $E$  більше граничного апроксимується рівнянням:

$$\lg t_{\text{доп}} = 3,5 - 0,125E \quad (2.36)$$

Виконання цієї умови забезпечує самовідновлення фізіологічного стану організму людини протягом доби без залишкових реакцій і функціональних або патологічних змін.

### Контрольні запитання

1. Яка НЕП припустима в місцях виконання робіт під напругою?
2. Яка НЕП є в безпосередній близькості від проводів фаз?
3. Як розташувати автомобіль з оснасткою в зоні впливу ЛЕП?

## **3 ЗАСОБИ І ЗАХОДИ ЗАХИСТУ ЛЮДИНИ В МІСЦІ ВИКОНАННЯ РОБІТ ПІД НАПРУТОЮ**

### **3.1 Засоби захисту людини від шкідливого впливу електричного поля**

Всі технології ВРН розроблені для відновлення нормального рівня ізоляції в найбільш слабких місцях. Такими місцями є гірлянди або ізоляційні підвіски, за допомогою яких відбувається механічне кріплення проводів до опор. Всі роботи на опорі виконуються бригадою, в якій обов'язково є висотні й низові електромонтери. Всі вони працюють в зоні впливу ЛЕП і тому повинні бути захищені від можливих небезпек в місці ВРН.

Умови роботи висотних та низових електромонтерів суттєво відрізняються. На низового електромонтера під час ВРН впливає сильне електричне поле (див. п.п.2.2). Проведені розрахунки (див. додаток А) свідчать, що низові електромонтери повинні мати індивідуальні захисні засоби у вигляді екранувального комплексу полегшеної конструкції.

Магнітна складова поля від ЛЕП практично не впливає на низового електромонтера (див. п.п.2.3), тому що шкідливий вплив магнітного поля проявляється лише при напруженості близько 200 А/м.

На відміну від низового, висотний електромонтер при ВРН відчуває на собі дію не тільки електричного, а й магнітного полів. Найбільш економічним, ефективним та універсальним засобом захисту від впливу електричного поля є використання посиленних екранувальних комплектів з додатковим козирком. Обмежити вплив магнітного поля можна шляхом збільшення дистанції між струмопровідною частиною і людиною за допомогою індивідуального інструменту (див. п.п.1.3). Крім цього, при великих значеннях напруженості магнітного поля тривалість перебування в ньому висотного електромонтера повинна бути скорочена.

### **3.2 Екранувальні комплекти спецодягу для виконання робіт в електроустановках під напругою 220–750 кВ**

Роботи під напругою в електроустановках 220–750 кВ дозволяється проводити тільки в спеціальних захисних екранувальних комплектах, які призначені для індивідуального захисту персоналу від шкідливого впливу електричного поля промислової частоти, в тому числі і з безпосереднім торканням людини струмопровідних частин електроустановок високої та надвисокої напруги, які знаходяться під напругою.

При ВРН, в залежності від рівня впливу електричного поля, можна виділити три зони:

- І зона, в якій можливе безпосереднє торкання людини струмопровідних частин, що знаходяться під напругою: коли радіус

зони рівний допустимій відстані від проводів, які знаходяться під напругою, до заземлених конструкцій (для даного класу напруги);

- II зона, де виключене безпосереднє торкання людини струмопровідних частин, однак рівень напруженості електричного поля не дозволяє знаходитися людині без використання спеціальних захисних засобів (стояків, траверси опор ПЛІ і металоконструкцій ВРП);
- III зона, в якій людина за умови впливу електричного поля хоча б обмежений час може знаходитися без використання захисних засобів (роботи в зоні впливу при напруженості електричного поля до 25 кВ/м і без піднімання на обладнання та металоконструкції ПЛІ або ВРП).

В табл. 3.1 наведені максимальні значення параметрів електричного поля в різних зонах при виконанні ВРП [9].

Найбільш ефективні і доцільні засоби індивідуального захисту людини від шкідливого впливу електричного поля – екранувальні комплекти спецодягу. Такі комплекти створюють для людини екранувальний простір і забезпечують, практично, повний захист людини від впливу електричного поля.

Таблиця 3.1 – Максимальні значення параметрів електричного поля в зонах виконання робіт під напругою

Зона ПРН	Максимальне значення параметра				Необхідний рівень захисту			
	$E_{0,7}$ кВ/м	$E_{5,7}$ кВ/м	$I_{3м,7}$ мА	$I_{роз,7}$ А	$K_E$	$K_I$	$\rho_n$ , Ом	$R$ , Ом
I	3000	2500	10	100	100	100	1	100
II	100	1500	1	10	60	15	100	100 0
III	25	400	0,3	1	5	5	–	–
Довготривале допустиме значення без засобів захисту	5	75	0,06- 0,1	1	1	1	–	–

Примітка.  $E_0$  – напруженість невикривленого електричного поля;  $E_5$  – напруженість викривленого електричного поля;  $I_{3м}$  – струм зміщення;  $I_{роз}$  – струм розряду;  $K_I$ ,  $K_E$  – коефіцієнти екранування,

відповідно, за струмом та напругою;  $\rho_n$  – питомий поверхневий опір;  $R$  – опір між двома точками на поверхні.

Екранувальні комплекти виготовляють із спеціальних тканин, до складу яких, поряд з бавовняними або віскозними, входять і електропровідні нитки, які створюють сітчасту структуру. Електропровідні нитки можуть виготовлятися з металу (тонкої мідної фольги, навитої на непровідну нитку – мішуру), а також з електропровідних волокон. Електропровідні волокна мають, відносно, високий опір, тому забезпечують дещо меншу кратність струмів зміщення. Кращими за екранувальними та гігієнічними властивостями є екранувальні комплекти, які виготовлені з тканини, з одночасним використанням металевих та електропровідних ниток.

Екранувальний комплект вкриває все тіло людини і створює для нього замкнутий простір, чим забезпечує зниження шкідливого впливу електричного поля на організм людини до допустимого рівня. Для роботи на струмопровідних частинах, які знаходяться під напругою (I зона), можуть використовуватись захисні комплекти типів: ЕП(А); ЕП(Б); УРкн 100/65; КЕ-ВРН.

Екранувальний комплект типу ЕП(А) виготовляють з тканин, до складу яких входять електропровідні волокна. В тканину комплектів ЕП(Б), крім синтетичних електропровідних волокон, додатково введена мішура. До складу комплектів входять куртка з капшоном і екраном для обличчя, з тканини з електропровідними волокнами, брюки з тієї ж тканини, рукавиці в'язані струмопровідні, черевики з електропровідною основою, провідники зі струбцями для створення еквіпотенційних систем.

Екранувальний комплект УРкн 100/65, який виготовляється з тканини з бронзовою мішурою, складається з екранувальної куртки з капшоном і сітковим екраном для обличчя; екранувальних брюк; екранувальних рукавичок; екранувальних шкарпеток; струмопровідних смуг.

### 3.2.1 Захисний комплект типу КЕ-ВРН

Комплект КЕ-ВРН (див. рис. 3.1) отримав найбільше розповсюдження. До його складу входять: екранувальний комбінезон 1 з капшоном і екраном для обличчя, екранувальні шкарпетки 2, екранувальні рукавиці 3, струмопровідні смуги 4.

Для виготовлення комплекту використовують трикотажне полотно, в'язане мідними мішурними нитками 2 % - ного сріблення і бавовняними нитками діаметром 0,1 мм. Комбінезон із капшоном має внутрішню ізоляційну гігієнічну прокладку з бавовняної тканини, що виключає контакт шкіри людини з струмопровідною поверхнею. Особлива увага при

виготовленні комплекту має приділятися надійному електричному контакту струмопровідних частин тканини в місцях швів. Для цього поверх зовнішніх швів накладають та пришивають провідні смуги шириною не менше 10 мм. Таким чином, з однієї сторони, підвищується механічна міцність костюма, а з іншої, — знижується перехідний електричний опір вздовж швів.

Комбінезон та капюшон виготовляють, як правило, з матеріалу світлих тонів, що забезпечує високий коефіцієнт відбивання світла і менше нагрівання комплекту сонячними променями при високій температурі навколишнього повітря. Провідні смуги, які накладаються поверх швів, мають яскраве забарвлення (червоні, жовті, сині), що надає яскравості комплекту в цілому. Таке забарвлення забезпечує підвищену увагу до людини, яка знаходиться в екранувальному костюмі і проводить важливі операції в процесі ВРН.

На передній частині капюшона на відстані 10 см одна від одної монтуються півкнопки типу КК-5. Вони необхідні для кріплення до капюшона екрана для обличчя.

Екран для обличчя виготовляють із електропровідної сітки з розміром комірок  $5 \times 5$  мм. По периметру екрана приєднані кнопки для з'єднання його з капюшоном. Більш зручна конструкція екрана для обличчя виконана Житомирським західним підприємством електричних мереж Київенерго. Екран виконаний у вигляді металевої сітки, натягнутої на жорсткий поворотний каркас.

Рукавиці п'ятипалі, на зап'ясті мають щільну зав'язку з двох мішурних ниток 2 % - ного сріблення і трьох бавовняних ниток товщиною 0,1 мм, всередині мають гігієнічну підкладку. Шкарпетки плетуть переплетінням провідних мішурних ниток 2 % - ного сріблення і непровідної бавовняної нитки (2×2). Зовнішня поверхня шкарпетки покрита чохлам з екранівної сітки, а для запобігання контакту з тілом використовують ізолювальну плетену прокладку. Для створення електричного зв'язку між окремими елементами комплекту з зовнішньої сторони низу рукавів та брюк, до пояса по всій його довжині, а також на обшлагах рукавиць та шкарпеток пришиті струмопровідні смуги. Довжина кінців смуги з кожної сторони становить не менше 300 мм. До пояса комбінезона по всій довжині пришивають струмопровідну смугу з вільним кінцем приблизно 700 мм для контакту з монтерським стільцем або візком.

Виготовлення комплекту у вигляді комбінезона забезпечує зручність при роботі на висоті, а також надійне екранування всієї поверхні тіла.

Перед початком роботи екранувальні костюми зовнішню оглядаються. При виявленні розривів тканини або струмопровідних смуг, окислення окремих ділянок тканини комплекту використовувати його для робіт на потенціалі проводу забороняється. Також вимірюють електричний

опір повністю зібраного комплекту, для цього його вішають на вішалку або одягають на людину. Окремі елементи з'єднують між собою.

Вимірювання проводять між струмопровідною смугою на поясі, кожною рукавичкою, шкарпеткою та капюшоном. Використовують пристрій класу точності не нижчий за 4 з напругою живлення не більшою 100 В.

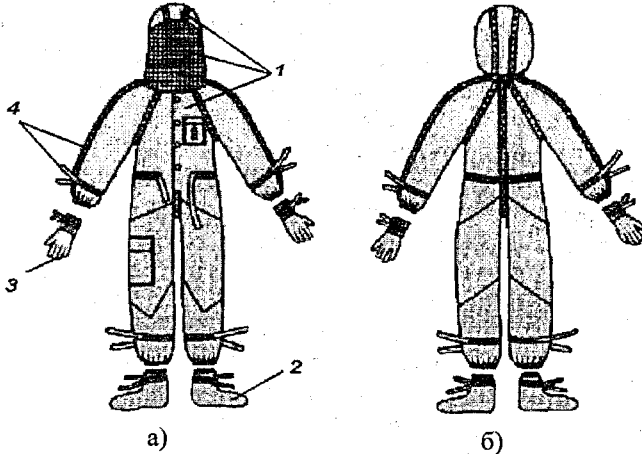


Рисунок 3.1 – Комплект екранувальний KE-BPH:  
а – вигляд спереду; б – вигляд ззаду

Таблиця 3.2 – Характеристики екранувального костюма типу KE-BPH

Номинальна напруга електроустановок, в яких може використовуватись комплект, кВ	110...750
Коефіцієнт екранування за напруженістю електричного струму, не менше	100
Коефіцієнт екранування за струмом, не менше	100
Опір між двома будь-якими точками поверхні комплекту, Ом, не більше	100
Розмір екранувальної комірки тканини, мм	2×2
Розмір екранувальної комірки екрана для обличчя, мм	5×5
Маса комплекту, кг	3,3

Комплект одягають на нижню білизну або одяг загального призначення. Капюшон одягають поверх захисної каски. Далі всі елементи екранувального костюма з'єднують між собою струмопровідними смугами. Допускається одягання поверх комплекту або під комплект

спеодягу, при умові забезпечення нормального електричного зв'язку елементів екранувального костюма між собою.

При роботі на струмопровідних частинах, з використанням монтерського стільця або візка, струмопровідну смугу на поясі комбінезона екранувального костюма з'єднують з елементами цих пристосувань.

При незначних пошкодженнях тканини екранувального комплекту допускається проводити його ремонт. Слід пришивати шматки з аналогічної тканини або струмопровідні смуги, які мають повністю перекрити дефект, з подальшим контролюванням надійності електричного контакту латки. Екранувальний комплект може піддаватися хімічній чистці в органічних розчинниках. Прання комплекту, через можливість втрати електропровідної спроможності тканини, забороняється.

У випадку зволоження костюма, його необхідно повісити на вішалку та просушити. При цьому забороняється викручувати його. Перевозити екранувальний костюм можна будь-яким видом транспорту в упакованому вигляді. При зберіганні та транспортуванні треба запобігати механічним пошкодженням, зволоженню, забрудненню.

Напруженість електричного поля на конструкціях опори (в зоні II) при не вимкненій лінії електропередачі може складати 40 – 60 кВ/м, тому всі висотні роботи під напругою повинні виконуватись з використанням захисних комплектів одягу. В сучасних технологічних картах передбачено такі роботи виконувати в комплектах, пристосованих для безпосереднього торкання людини струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. Це зумовлює необхідність наявності в бригаді не менше двох чоловік, готових до роботи на струмопровідних частинах, а також виконання вимог про взаємозамінність членів бригади.

Допускається використання електромонтерами, які працюють на конструкціях опори, індивідуальних екранувальних комплектів, призначених для виконання робіт на землі і заземлених конструкціях, наприклад, типу ЕП.

На рівні землі лише в місцях найбільшого наближення проводу до землі (середина прогону між проміжними опорами, під шлейфами проводів анкерних та транспозиційних опор) напруженість електричного поля перевищує 10 кВ/м. Тривалість робіт в зоні такої напруженості протягом одного робочого дня не перевищує 1,5 г, тому низовим електромонтерам не обов'язково використовувати засоби захисту від електричного поля. Однак, враховуючи систематичний характер виконання робіт, а також досить неприємні відчуття в суху погоду при торканні тілом людини заземлених предметів (наприклад, трави), низовим електромонтерам доцільно використовувати екранувальні комплекти для роботи на потенціалі землі (КЕЗ) типу ЕП або полегшені комплекти.

Екранувальні комплекти для ВРН після виготовлення піддають спеціальним випробуванням. В табл. 3.3 наведені результати порівняльних вимірювань напруженості електричного поля на поверхні манекена, який не захищений від електричного поля і одягненого в екранувальний комплект КЕ-ВРН при  $U_{\phi} = 434$  кВ, а також коефіцієнти екранування за напруженістю електричного поля  $k_E$ . Різниця потенціалів між комплектом і манекеном не перевищує 10 В. З манекена на комплект стікав струм 21 мкА, в цей самий час з комплекту на провід стікав струм 2700 мкА. Коефіцієнт екранування за струмом зміщення  $k_1 = 128$ .

Таблиця 3.3 – Напруженості електричного поля на поверхні манекена, який не захищений від електричного поля і захищений екранувальним комплектом КЕ-ВРН

E, кВ/м	Місця вимірювання напруженості електричних полів							
	Тім'я	Ніс	Плече	Груди	Лопатка	Пах	Колі но	Кисть
Без ЕК	580	1000	1000	850	820	700	950	3000
Під ЕК	1,1	1,3	3,3	0,1	0,8	0,6	0,1	0,4
$k_E$	527	770	303	8500	1025	1160	9500	7500

В процесі дослідницької експлуатації екранувальних комплектів ЕК-ВРН неодноразово виконувалось визначення їх стану як в обов'язки експлуатаційних перевірок (огляд, вимірювання опору постійного струму комплекту в цілому і окремих елементів, визначення відчуттів працюючих), так і за спеціальними програмами (вимірювання напруженості електричного поля на поверхні комплекту і під комплектом на тілі людини; визначення відчуттів людини як в усталеному, так і в неусталеному режимах). Ці експерименти підтвердили високі експлуатаційні та захисні властивості екранувального комплекту КЕ-ВРН [2].

### 3.2.2 Спрощений екранувальний комплект типу КСЕ для ВРН

Спрощений захисний комплект призначений для захисту людини від впливу електричного поля, а також від напруг кроку при виконанні роботи на рівні землі або з підйманням на опору висотою не більше 5 м. Загальний вигляд комплекту КСЕ-02 зображено на рис. 3.2.

В комплект входять: 1 – капюшон; 2 – екранувальний жилет; 3 – струмопровідний пояс; 4 – струмопровідні манжети; 5 – струмопровідні накладки на підшви взуття; 6 – з'єднувальні провідники, що кріпляться до манжетів.

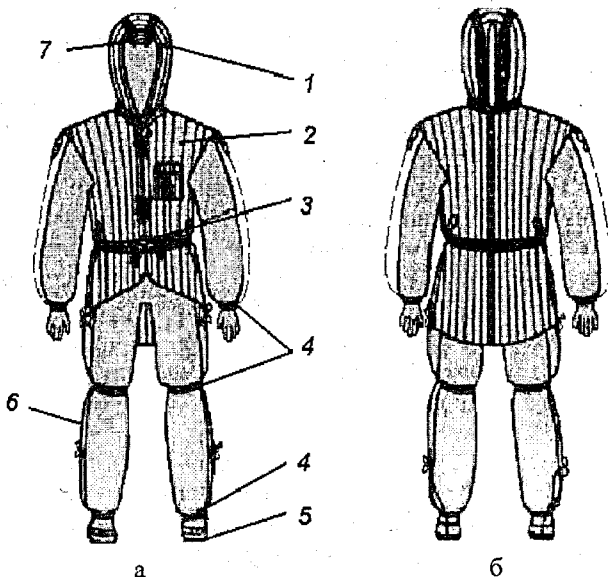


Рисунок 3.2 – Комплект екранувальний спрощений КОЕ-02:  
а – вигляд спереду; б – вигляд ззаду

Екранувальний — жилет — 2 — виконаний з трикотажного струмопровідного листа на бавовняній підкладці, з застібкою на дві пари непровідних смуг 3 і контактними струмопровідними смугами на плечах та стегнах 4. Усі шви зверху покриті струмопровідними смугами шириною 10мм. Зрівнювальний провідник 6 використовується для зниження напруги кроку при виникненні короткого замикання поблизу місця ВРН. Капюшон 1 виконаний з того ж матеріалу, що й жилет, містить карман для козирка до каски 7, по краю лицьового розрізу капюшон пристрочений непровідними смугами для запобігання контакту екранувального матеріалу з обличчям людини. У двох місцях зверху капюшона пристрочені провідні смуги.

Таблиця 3.4 – Характеристики ЕК типу КОЕ-02

Напруженість електричного поля, в якому може застосовуватись комплект, кВ/м, не вище	25
Коефіцієнт екранування за струмом, не менше	5
Струм, що стікає з комплекту на тіло людини, мкА, не більше	60
Опір між двома будь-якими точками комплекту, Ом, не більше	100
Маса комплекту, кг	1,5

Для вирівнювання потенціалу між ЕК і тілом людини використовують струмопровідні манжети 4, які одягаються на зап'ястя рук та щиколотки ніг. Манжети з'єднують провідною смугою з жилетом. При роботах можна використовувати екранувальні рукавиці. Для вирівнювання потенціалу між ЕК і «землею» використовують металеві накладки 5, які кріпляться до підошви взуття. Накладки за допомогою провідників 6 з'єднуються з жилетом. Конструкція і форма накладок, а також спосіб їх кріплення до взуття, мають декілька модифікацій.

Спрощений екранувальний комплект дозволяє зменшити емнісні струми зміщення, які впливають на електромонтера, більше, ніж в 5 разів. Він може використовуватися при ВРН тільки низовими електромонтерами.

Перед початком роботи КОЕ-02 зовнішньо оглядають. При виявленні розриву тканини або струмопровідних смуг, окислення окремих ділянок матеріалу використовувати його для роботи в електричному полі заборонено.

Екранувальний комплект треба одягати на верхній одяг. Контакт комплекту з тілом забезпечують з'єднанням провідних смуг манжетів на руках або ногах зі смугами комплекту. Взуття з провідними накладками необхідно постійно очищувати від забруднень.

Електричний опір КОЕ-02 вимірюють не менше одного разу на 3 міс. У разі незначного пошкодження матеріалу, в ЕК КОЕ-02 допускається виконувати ремонтний піднімання петель з подальшим штопанням. Можна пришивати латки з аналогічної тканини або струмопровідної смуги, які покривають дефекти, з наступним контролюванням надійності електричного контакту латки.

Комплект можна піддавати хімічному чищенню в органічних розчинниках. Забороняється прати КОЕ-02 через можливість втрати електропровідних властивостей матеріалу. У випадку зволоження КОЕ-02 його необхідно повісити на вішалку та просушити. Забороняється викручувати КОЕ-02. Комплект повинен зберігатися в сухому опалюваному приміщенні в розвішаному стані. Перевозити його можна будь-яким видом транспорту в упакованому вигляді. При зберіганні та транспортуванні КОЕ-02 слід уникати механічних пошкоджень, зволоження, забруднень.

### **3.3 Запобіжні монтерські пояси**

Запобіжні монтерські пояси призначені для безпеки висотних електромонтерів; їх повинні використовувати члени бригади, що виконують роботи на потенціалі струмопровідних частин, які знаходяться під напругою, а також на траверсах і стояках опор ПЛ. Повинні використовуватись пояси зі стропами з технічною капроною смугою або з аналогічного матеріалу.

Електромонтерам, яким в процесі виконання робіт необхідно підніматися або опускатися по гнучкій ізолювальній драбині, бажано використовувати пояси типів ВМ і ВР або до них подібні, які мають лямки на плечі та стегна, а також страхувальний фал. До страхувального фалу кріпиться ізолювальний канат, пропущений через блок; за допомогою цього канату низові електромонтери забезпечують страхівку і, крім цього, полегшують переміщення по гнучкій ізолювальній драбині.

### **3.4 Захисні каски**

Захисні каски призначені для захисту голови від механічних ушкоджень, атмосферних опадів, ураження електричним струмом. Касками зобов'язаний користуватися весь персонал, який бере участь у виконанні робіт під напругою.

### **3.5 Діелектричні боти та калоші**

Діелектричне взуття при ВРН використовується як допоміжний засіб захисту, воно захищає електромонтерів, які працюють з лебідкою, від напруги кроку. Замість бот може використовуватися ізолювальна підставка, яка складається з настилу, прикріпленого на ізоляторах висотою не менше 70 мм.

## **Контрольні запитання**

1. Яка величина коефіцієнта екранування людини від напруженості електричного поля в екранувальному комплекті одягу?
2. Які існують засоби захисту людини від напруг дотику і кроку?
3. Яка припустима величина струму зсуву для низового електромонтера?

### 4.1 Ізолятори полімерні

Полімерні ізолятори застосовуються для підвищування монтерського стільця (або стільця-візка) і ізоляції його від конструкції опори, а також для сприйняття ваги проводу фази ПЛІ при ремонті ізолювальної підвіски. Для виконання робіт під напругою можуть застосовуватись лінійні та спеціальні полімерні ізолятори.

Для проведення робіт під напругою 500 кВ і вище полімерні ізолятори комплектують в гірлянди з двох послідовно з'єднаних ізоляторів. Одиначні ізолятори і гірлянди ізоляторів з нормованим механічним навантаженням 160 кН повинні застосовуватись з екранами зі сторони проводу, гірлянда ізоляторів СК 70/750 – з екраном зі сторони проводу (С – ізолятор стрижньовий спеціальний, К – кремнійорганічна гума, 70 – нормована механічна сила при розтягненні, 750 – номінальна напруга ПЛІ в кіловольтах, на якій має бути застосований ізолятор).

Загальний вигляд окремого полімерного ізолятора зображено на рис. 4.1, а на рис. 4.2 – гірлянди полімерних ізоляторів. Ізолятори складаються з: склопластикового стрижня, захисної оболонки, екранного кільця і металевих наконечників. Захисна оболонка захищає склопластиковий стрижень від впливу навколишнього середовища.

Матеріалом захисної оболонки є кремнійорганічна гума гарячої вулканізації. Захисну оболонку ізоляторів формують послідовним насаджуванням на стрижень попередньо виготовлених елементів (ребер). В процесі збирання ізоляторів між ребрами і стрижнем, а також між сусідніми ребрами вводять силіконовий компаунд. Після полімерізації з'єднання стає герметичним навіть при значних поздовжніх деформаціях склопластикових стрижнів.

Для з'єднання ізоляторів один з одним і з арматурою лінії на кінцях ізоляторів є металеві наконечники. Силові вузли ізоляторів створюються спільним опресуванням наконечника та склопластикового стрижня в спеціальній матриці.

Перед початком роботи необхідно почистити ізолятори від забруднення і перевірити їх технічний стан. При перевірці необхідно приділити увагу цілісності елементів захисної оболонки (сколи, розриви, тріщини, раковини) і наконечників; відсутність слідів електричних розрядів на поверхні кремнійорганічного покриття в місцях стиків ребер між собою і з металевою арматурою; відсутність слідів сповзання арматури з склопластикового стрижня. При виявленні одного з перелічених пошкоджень або дефектів використання ізоляторів забороняється.

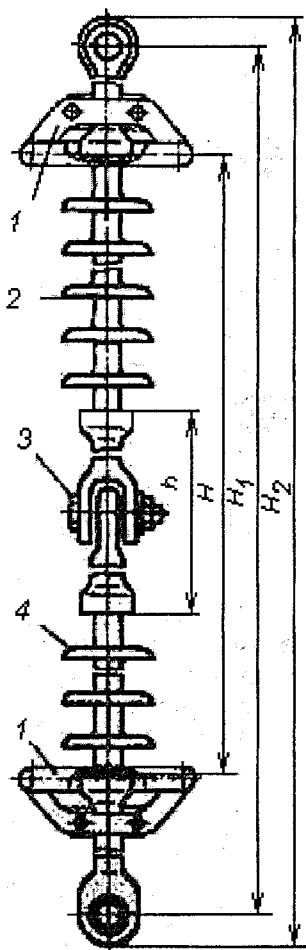


Рисунок 4.2 – Гірлянда полімерних ізоляторів СК 160/750:  
 1 – екрановане кільце типу ЕК 160/500; 2 – ізолятор типу СК 160/500;  
 3 – палець 25×75 СТПН-5-80; 4 – ізолятор типу СК 160/220;  
 $H$  – ізоляційна висота;  $H_1$  – будівельна висота;  $H_2$  – габаритний розмір.

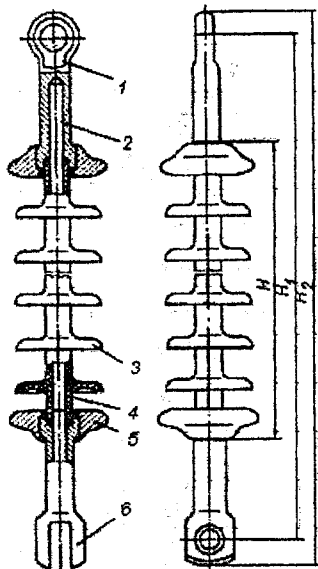


Рисунок 4.1 – Полімерний ізолятор типу СК 70:

1 – однолапчатий наконечник; 2 – склопластиковий стрижень;  
 3 – захисна оболонка (ребро); 4 – втулка; 5 – дисковий екран;  
 6 – дволапчатий наконечник;  $H$  – ізоляційна висота;  
 $H_1$  – будівельна висота;  $H_2$  – габаритний розмір

Експлуатувати ізолятори треба в умовах, які виключають виникнення крутячих або вигинаючих моментів. Категорично забороняється переміщення людини безпосередньо по полімерному ізолятору, а також кріплення будь-яких монтажних пристосувань до його ізолювальної частини. Ізолятори повинні зберігатися і транспортуватися поелементно упакованими в індивідуальні жорсткі пластмасові пенали з кришками.

#### 4.2 Канати ізолювальні поліпропіленові

Ізолювальні поліпропіленові канати застосовують для піднімання (спуску) до струмопроводу монтерського стільця або візка, переміщення і утримання монтерського стільця в проміжку: провід – стійка опори, і візка на проводах в прогоні; спуску (піднімання) демонтованої гілки гірлянди ізоляторів, а також піднімання і опускання монтажних пристосувань та інструментів між проводом і землею.

В роботі канати піддаються значним електричному та механічному впливам, тому треба їх виготовляти з електроізоляційного матеріалу високої механічної міцності. Необхідні характеристики мають канати, що виготовлені з поліпропілену. Канати, які використовують для піднімання людини, повинні мати запас механічної міцності (відношення гарантованої механічної міцності до найбільшого номінального навантаження) не менше 12, інші канати повинні мати запас міцності не менше 6.

Ізолювальний поліпропіленовий канат – це скручені джгути з поліпропіленових волокон або плівки. Канати на кінцях можуть мати петлі і забезпечуватися карабінами (див. рис. 4.3).

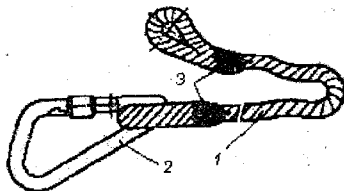


Рисунок 4.3 – Канат ізолювальний.

1 – канат поліпропіленовий; 2 – карабін; 3 – окетлювання

Петля повинна мати не менше двох повних і двох половинчастих пробивок пасмами і бути окетльована; вільні, незаплетіновані в петлю кінці – окетльовані.

Ізолювальні поліпропіленові канати повинні бути чистими та сухими. Категорично забороняється використовувати ізолювальні канати при відносній вологості повітря вище 90 % і будь-яких видах атмосферних опадів. У випадку раптового виникнення таких погодних умов під час ВРН ізолювальні канати повинні бути відділені від струмопровідних частин і демонтовані з опори в першу чергу.

Електрична міцність поліпропіленових канатів знижується навіть при незначному їх зволоженні. Тому при перевірці робочою напругою при виникненні розрядів на поверхні канатів, виникненні пари, диму (що свідчить про їх зволоження) такі канати повинні бути замінені сухими. Зволоженні канати мають бути висушені і позачергово електрично випробувані.

Під час роботи ізолювальні поліпропіленові канати не повинні торкатися поверхні землі, для цього їх кінці занурюють в пластикові джки. Мінімальна довжина ізолювальних канатів, які використовуються для роботи під напругою 750 кВ, дорівнює 6,6 м. Електричним і механічним

випробуванням піддаються щойно виготовлені і ті канати, які знаходяться в експлуатації, один раз на 12 місяців. Крім цього, електричним випробуванням вони піддаються після кожного чищення та сушіння.

Механічне зусилля при експлуатаційних випробуваннях дорівнює двократному номінальному або 20%-му розривному. Електричні випробування проводять по частинах, виходячи з норм питомої випробувальної напруги: для нових виготовлених канатів 2,5 кВ/см; для тих, що знаходяться в експлуатації – 2,2 кВ/см. Довжина випробовуваних ділянок повинна бути не менше 30 см. Ізолювальний канат вважається нормальним, якщо під час випробування не виникло пробою, перекриття по поверхні, інтенсивних поверхневих розрядів з нагріванням. При цьому струм, який протікає через будь-яку ділянку канату, не повинен перевищувати 500 мкА. Із значення виміряного струму має бути відраховане значення струму витoku випробувальної схеми. При сумарному струмові 500 мкА, вимірювання струму витoku кожної ділянки необов'язкове.

Перед початком роботи канати оглядаються. На поверхні не повинно бути забруднень, нагару, цвілі, надривів та інших дефектів. Не допускаються до експлуатації канати з просроченим строком чергових випробувань. Забруднені ізолювальні канати піддають хімічній чистці в органічних розчинниках або перуть у розчині синтетичного порошку. Після чистки канати розвішують в приміщенні з відносною вологістю повітря не більше 70 % і температурою  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ , просушують не менше 24 годин з наступними випробуваннями.

Транспортують ізолювальні канати в закритій тарі. Зберігати канати необхідно тільки в сухих опалюваних приміщеннях, далеко від трансформаторного масла, бензину, керосину та інших розчинників, а також від опалювальних приладів. При зберіганні в тарі кришки діжок повинні бути відкриті.

#### 4.3 Штанги переносу потенціалу

Штанги переносу потенціалу призначені для перенесення потенціалу проводу на монтерський стілець-візок і екранувальний комплект електромонтера при наближенні його до проводу. Використовуються два види штанг: ШС – штанга силова для перенесення потенціалу проводу на монтерський стілець; ШП – штанга потенційна для перенесення потенціалу на екранувальний комплект і вирівнювання потенціалів між екранувальним комплектом та пристроями (інструментами), які подаються з землі і мають «плаваючий» потенціал (загальний вигляд штанги ШП зображено на рис. 4.4). Штанги складаються з головки 1, ізолювальної ручки 2 і гнучкого провідника 4 з клеюю для з'єднання з монтерським стільцем (візком).

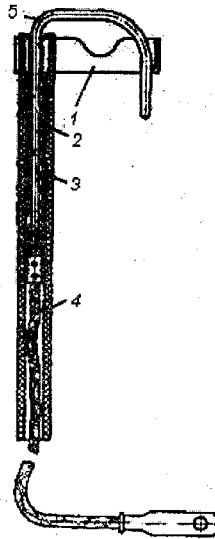


Рисунок 4.4 – Штанга переносу потенціалу:  
 1 – головка; 2 – ручка; 3 – пружина; 4 – провідник гнучкий;  
 5 – крюк

Площа перерізу гнучкого провідника силової штанги розрахована за умовами термічної стійкості при протіканні струму короткого замикання, а провідника потенційної штанги – за умовами довготривалого протікання струмів зсуву і механічної міцності.

Головка силової штанги ШС (див. рис. 4.5) виконана у вигляді пружинного захвату за провід. При наближенні до проводу на відстань витягнутої руки електромонтер накладає головку штанги на провід і легким рухом натягає її на себе. При цьому провід проходить в комірку головки, і пружинний замок замикає його в комірці.

Зняття штанги відбувається в зворотному порядку. Головка потенційної штанги ШП виконана у вигляді пружинної скоби з крюком. Завдяки пружинній рухомості крюка після захвату проводу або пристосування, крюк відтягається і заводиться в скобу. Провід опиняється закритим між крюком та скобою в комірці.

Штанги перед початком роботи необхідно оглянути: перевірити стан пружин, гнучких провідників та їх з'єднань, відсутність корозії. Зберігати штанги необхідно в сухому приміщенні.

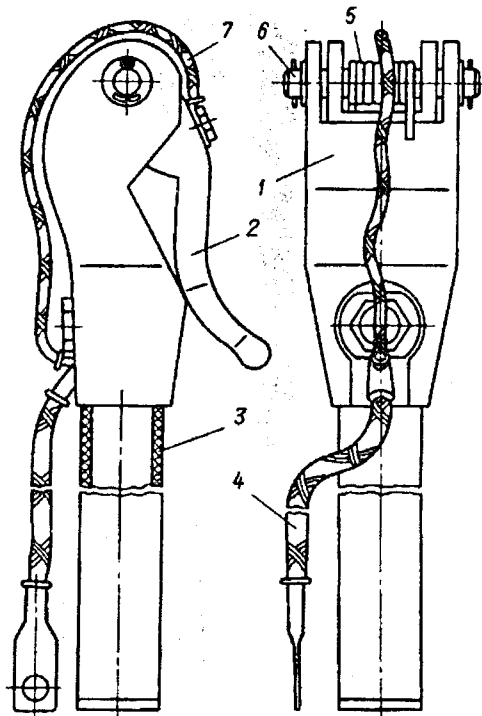


Рисунок 4.5 – Штанга силова

1 – головка; 2 – захват; 3 – ручка ізолювальна; 4 – провідник гнучкий;  
5 – пружина; 6 – вісь виробу; 7 – провідник з'єднувальний

#### 4.4 Стілець монтерський

Монтерський стілець служить для розміщення в ньому електромонтера і доставки його до проводів фази ПЛ. Він є робочим місцем електромонтера під час виконання робіт з ремонту підтримуючих ізолювальних підвісок.

Металевий каркас стільця створює додатковий захист електромонтера від впливу електричного поля. Підвіска монтерського стільця до заземлених частин опори ПЛ виконується через полімерний ізолятор. Маневрування стільця під час виконання робіт виконується за

допомогою відтяжних поліпропіленових канатів. Конструкція монтерського стільця дозволяє електромонтеру працювати сидячи і стоячи.

Монтерський стілець (див. рис. 4.6) складається з трубчастого зварного каркасу 1, обладнаного поручем 2. Низ каркасу закритий піддоном 4. В середині каркасу розміщується напів'яке сидіння 3. У верхній частині каркасу знаходиться провушина 7 для приєднання полімерного ізолятора. Кільця 5 служать для приєднання відтяжних канатів, клема 6 – для приєднання гнучких провідників штанг для перенесення потенціалу.

Випробуванням підлягають виготовлені вироби, після ремонту, а також періодично в процесі експлуатації, 1 раз на 12 міс. Випробувальне зусилля – 1,9 кН.

Обслуговування монтерського стільця полягає в огляданні перед початком і після роботи. При огляді необхідно впевнитися у відсутності дефектів зварних швів і деформацій. При виявленні деформацій провушини для підвишування стільця, провушину необхідно замінити з

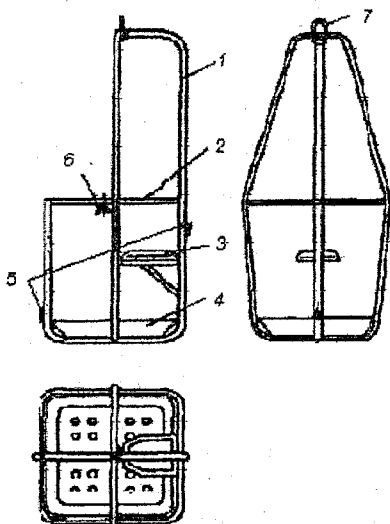


Рисунок 4.6 – Стілець монтерський

подальшим механічним випробуванням. Металеві поверхні мають бути пофарбовані для захисту виробів від корозії [9].

Неізолювальні капронові канати (К) скручені в джгути з капронових ниток. Ці канати призначені для намотування на барабан лебідки з подальшим напроцуванням ізолювальними поліпропіленовими

канатами при підніманні і опусканні монтерського стільця та гірлянд ізоляторів; для страховки візка при переході через підтримувальний затискач і зміні напрямку руху каретки пристрою для доставки монтерського стільця до проводу; як нескінченний канат (БК). Для ВРН використовують канати діаметром 12–19 мм. Розривне зусилля капронового каната діаметром 19 мм – 60кН; 12 мм – 24 кН. Канати вибирають з урахуванням необхідного запасу міцності. Використання капронових канатів замість ізолювальних поліпропіленових категорично забороняється.

Перед початком робіт канати оглядають. На поверхні канатів не повинно бути надривів, порізів і інших дефектів. У разі їх виявлення канати повинні бути замінені. Канати, які застосовуються для піднімання або переміщення монтерського стільця, страховки візка, один раз на 12 місяців повинні проходити механічні випробування. Випробувальне зусилля повинно складати 25% розривного. Нескінченний канат (див. рис. 4.7) має два вмонтованих повідки з карабінами для підвішування пристосувань та інструментів, які подаються на траверсу. Кріплення каната здійснюється за допомогою блоків ББК з ізолювальними роликами, один блок кріпиться до косинця траверси, другий до якоря, який забивається або вгвинчується в ґрунт біля опори. Не допускається наближення нескінченного каната до струмопровідних частин ближче 6 метрів для ПЛЛ 750 кВ; 4,5 метри – 500кВ; 3,5 метри – 330 кВ; 2,5 метри – 220 кВ.

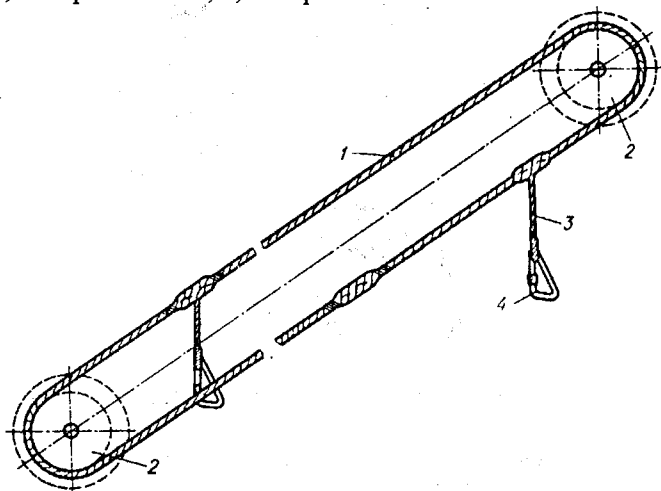


Рисунок 4.7 – Канат нескінченний

1 – канат капроновий; 2 – блоки; 3 – повідок; 4 – карабін

У деяких випадках для робіт необхідно використовувати ізолювальний нескінченний канат (ІБК), за допомогою якого подаються пристосування і ізолятори електромонтеру, що знаходиться на потенціалі проводу. Для цього використовуються поліпропіленові канати і блоки з ізолювальними роликами.

Драбина гнучка ізолювальна (ДІ) призначена для аварійного спускання електромонтера, який знаходиться біля проводів на монтерському стільці (візку), або для піднімання електромонтера до проводів із землі. Загальний вигляд драбини показаний на рис. 4.8. Тятиву ізолювальної драбини 1 виготовлена з поліпропіленового каната, шаблі 2 – із склопластикового профілю. Шаблі і тятиви з'єднуються між собою спеціальними з'єднувальними вузлами 3.

Для робіт під напругою на ПЛ 500 – 750 кВ застосовують ізолювальні драбини, які складаються з двох секцій. З'єднання секцій між собою, а також кріплення шаблів до металоконструкції монтерського стільця або візка, можуть здійснюватись за допомогою карабінів чи іншої зчіпної арматури.

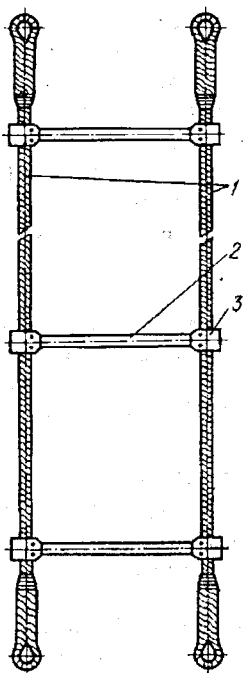


Рисунок 4.8 – Драбина гнучка ізолювальна  
1 – тятиви; 2 – шаблі; 3 – з'єднувальний вузол

## Характеристики ДД

Вантажопідйомна сила, кН	1
Довжина, мм	15000
Ширина, мм	300
Крок щаблів, мм	350
Діаметр каната тятив (не менше), мм	13
Маса, кг	15

Механічним і електричним випробуванням піддаються виготовлені драбини, а також після ремонту. При механічних випробуваннях навантаженню піддається кожна тятива, кожний щабель. Випробувальне механічне зусилля – 1,25 кН. Електричні випробування виконуються для кожної тятиви окремо. При прийнятних випробуваннях напруженість 2,5 кВ/см; при експлуатаційних випробуваннях – 2,2 кВ/см.

Перед початком і після роботи гнучку ізоляційну драбину оглядають. На тятивах щаблів не повинно бути руйнувань пасом, вушок, стикувальних хомутів. Тятиви щаблів не повинні зволожуватись, а також торкатися землі. У випадку поверхневого забруднення тятиви драбини, необхідно очистити щіткою в органічних розчинниках або в розчині прального порошку з подальшим сушінням. Після сушіння треба зробити електричні випробування напругою 2,2 кВ/см.

Транспортування драбин відбувається в закритій тарі. Зберігати драбини можна тільки в сухих опалювальних приміщеннях; при цьому кришки тари, яка використовується для збереження, повинні бути відкриті.

Блоки з пластмасовими роликами (Б) призначені для зміни напрямку руху поліпропіленових і капронових канатів. У залежності від способу кріплення ролика до траверси і від призначення при ВРН, застосовується ряд модифікацій блоків. Різні види блоків показані на рис. 4.9. Для запобігання металізації поверхні канатів, ролики блоків і виготовляють з пластмаси (капрону).

Технічне обслуговування блоків полягає в зовнішньому огляді перед початком роботи. На блоках не повинно бути тріщин, деформацій, ушкоджень різьблення. Обертання ролика повинно бути м'яким, без заїдань.

Випробуванням підлягають всі блоки після виготовлення, ремонту, а також періодично 1 раз на 12 місяців. Випробування здійснюють навантаженням, яке на 25% перевищує номінальну вантажопідйомність.

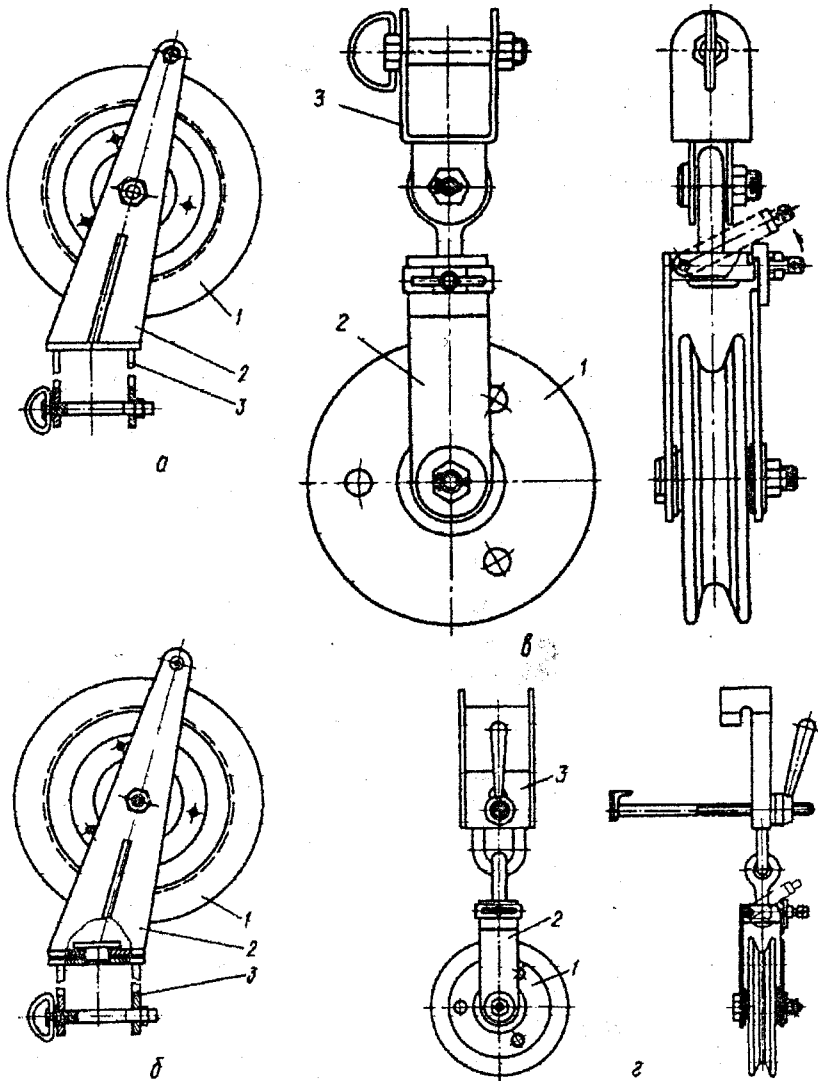


Рисунок 4.9 – Блоки з пластмасовими роликками: а, б, в, г;

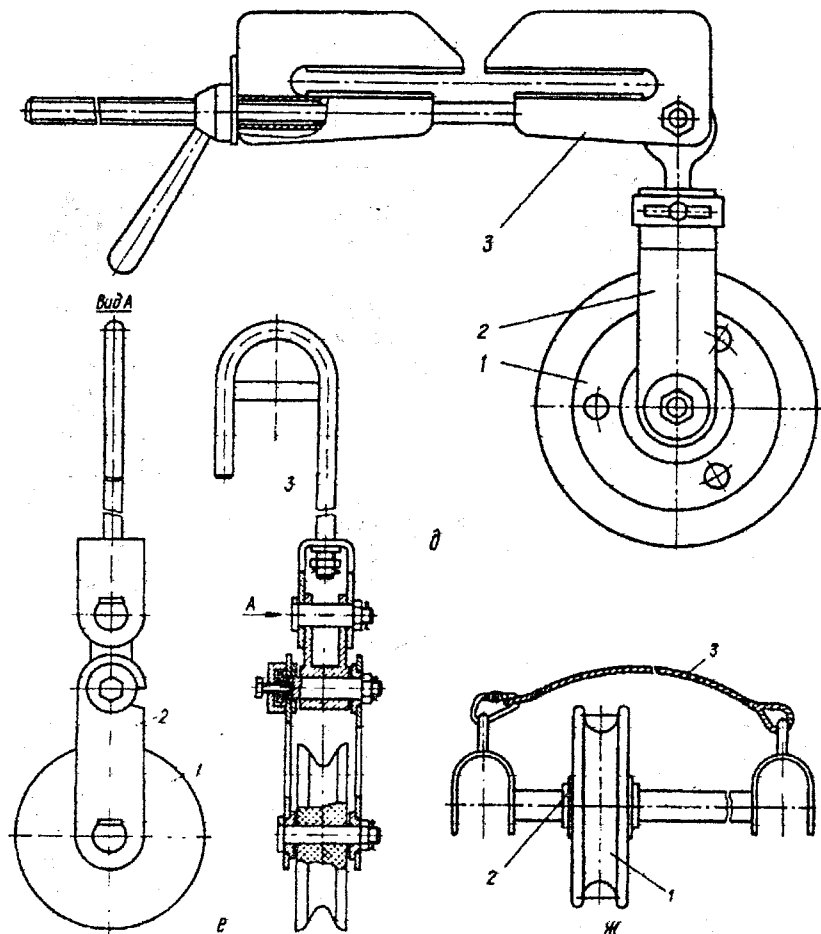


Рисунок 4.9 – Блоки з пластмасовими роликами: д, е, ж

Ролик для відведення (РВ) призначений для усунення тертя канів при ВРН у випадку їхнього наближення до металоконструкції опори. Ролик для відведення складається з металевої станини 1 (див. рис. 4.10), на стояку якої встановлений знімний ролик 2 з двома ребордами. Ролик виконаний збірним, він повинен легко обертатися навколо осі 3 на двох шарикопідшипниках 4. РВ кріпиться на металоконструкціях опори за допомогою двох гвинтових притисків 5, які повинні надійно фіксувати пристосування.

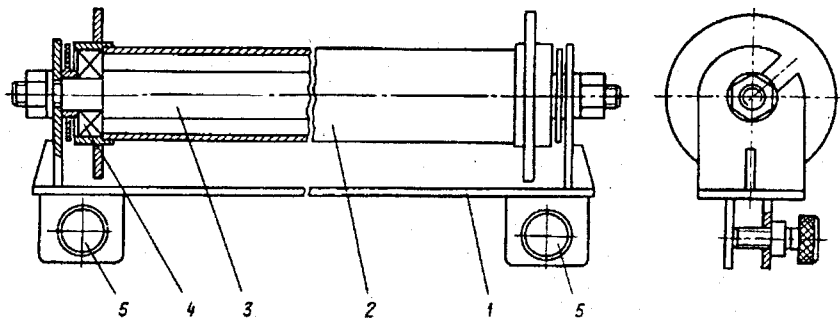


Рисунок 4.10 – Ролик для відведення

### Характеристика РВ

Діаметр ролика, мм	50
Довжина робочої поверхні, мм	280
Маса, кг	4

Технічне обслуговування полягає в зовнішньому огляді пристосування перед початком і після роботи. На РВ не повинно бути порушень зварних швів, деформацій, дефектів різьблення гвинтових притисків. Заміна мастила в підшипниках здійснюється один раз на 12 місяців, а притискних гвинтів – при ослабленні нарізного з'єднання. На металевих поверхнях не повинно бути корозії; РВ повинен зберігатися в сухому приміщенні.

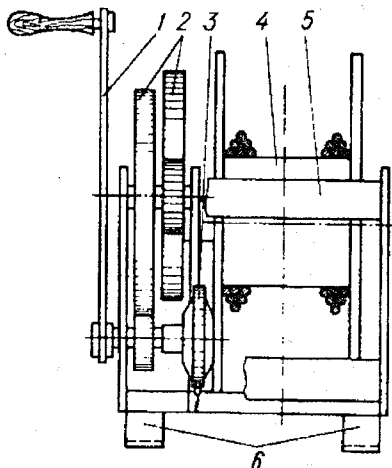


Рисунок 4.11 – Лебідка ручна

Лебідка ручна (ЛР) служить для піднімання монтерського стільця до проводу, переміщення електромонтера, який знаходиться в монтерському стільці по допоміжному канату від стояка опори до проводів; опускання (піднімання) дефектної гірлянди ізоляторів. Лебідка (див. рис. 4.11) складається зі сталевого зварного корпусу 5, у якому на осі монтується барабан 4 для намотування каната. Барабан приводиться в рух за допомогою приводної рукоятки 1. Для зменшення зусилля на рукоятці є двоступінчастий циліндричний редуктор 2. Плавність спуску, у випадку відмови храпового механізму, забезпечує фрикційне гальмо 3. Усі вали ЛР посаджені на шарикопідшипники. На корпусі є вушка 6 для кріплення лебідки на конструкціях опори. У вушка вставляють спеціальні балки з захватами за косинці опори.

Піднімання вантажів здійснюють обертанням рукоятки, закріпленої на нижньому валу ЛР, за годинникової стрілкою. При підніманні легких вантажів можна рукоятку встановити на верхній вал і, обертуючи рукоятку проти годинникової стрілки, збільшити швидкість піднімання вантажу. При досягненні вантажем заданої висоти, необхідно припинити обертання рукоятки і висунути стопор у крайнє положення.

Для опускання вантажу стопор виводять у крайнє ліве положення і обертанням рукоятки проти годинникової стрілки, опускають вантаж.

#### Характеристика ЛР

Вантажопідйомна сила, кН	5
Діаметр барабана, мм	159
Довжина рукоятки, мм	300
Зусилля на рукоятці (при навантаженні), кН	0,2
Діаметр каната, мм	16
Канатомісткість (не менше), м	30
Маса, кг	30

Технічне обслуговування полягає в зовнішньому огляді ЛР перед початком і після закінчення робіт, а також у перевірці роботи гальма, храпового механізму. Треба перевіряти стан підшипників, при необхідності їх промивати і змащувати. Пружини храпового механізму підлягають заміні при втраті пружності.

Випробування проводять для виготовлених ЛР і після ремонту. У процесі експлуатації 1 раз на 12 місяців роблять періодичні випробування: статичні випробування зусиллям 6,25 кН; динамічні випробування зусиллям 5,5 кН. При транспортуванні лебідки треба уникати ушкоджень механізмів і деформацій.

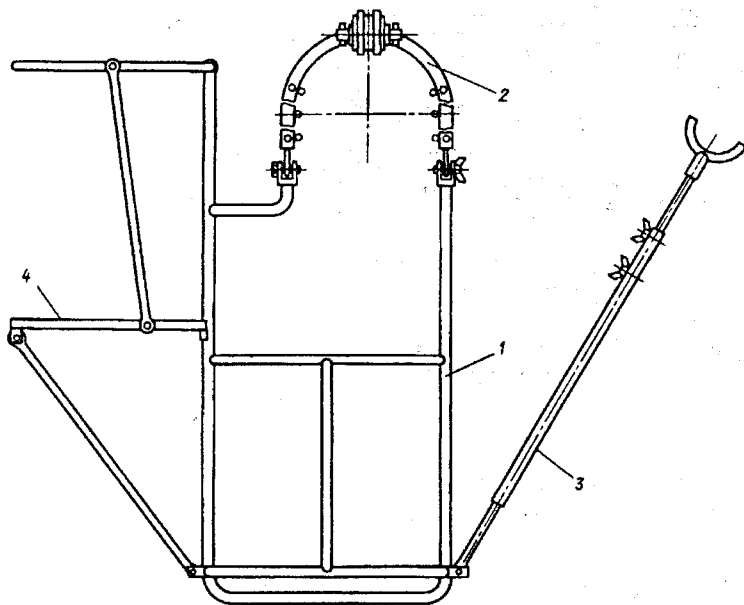


Рисунок 4.12 – Пристрій для пересування вздовж натяжної гірлянди

**Пристрій для пересування вздовж натяжної гірлянди (ПНГ)** (див. рис. 4.12) призначений для доставки електромонтера до місця виконання робіт з заміни окремих дефектних ізоляторів ПЛ на складних анкерних опорах. Пристрій складається із стільця монтерського з приставкою 1 і прилаштування для пересування по гірлянді у вигляді полоза 2. При ремонті нижніх гірлянд у фазі електромонтер знаходиться в монтерському стільці, при ремонті верхніх гірлянд – він переходить на відкидну площадку-приставку 4. Для збільшення стійкості пристрою використовують упори 3, шарнірно прикріплені до монтерського стільця. Упори висувні і регулюються по довжині, при роботі спираються на сусідню гірлянду й оберігають конструкцію від перекидання.

Полоз (див. рис. 4.13) забезпечує пересування прикріпленого до нього монтерського стільця по гірлянді ізоляторів. Він є конструкцією напівовального профілю. Два хомути 2 з'єднані між собою склопластиковими стрижнями 5. Два клиноподібних гумовотканинних ремені 4 проходять по напрямних роликах 1, забезпечуючи плавне пересування конструкції по скляних деталях ізолятора. Для зменшення прогинання ременів служать підтримувальні ролики 3. Напрявні ролики 1 рухомі, що дозволяє здійснювати натягування ременів.

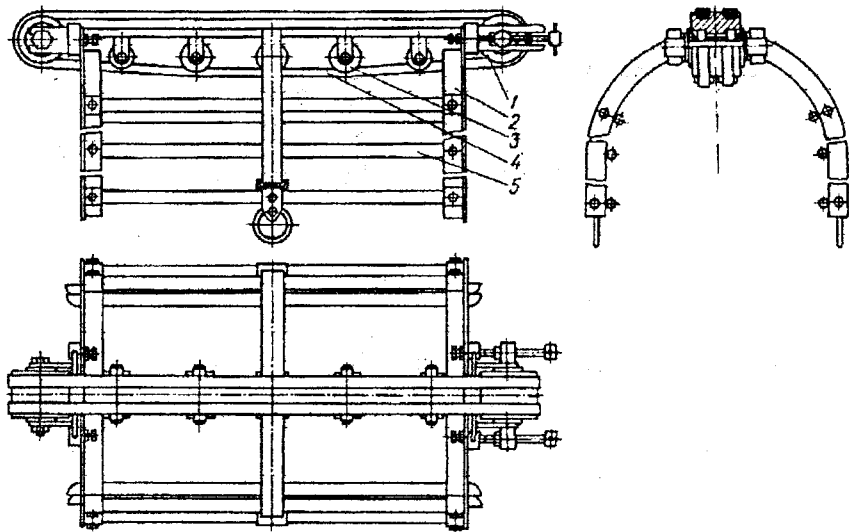


Рисунок 4.13 – Полоз

### Характеристики ПНГ

Вантажопідйомна сила пристрою, кН,	1,5
Габаритні розміри (у робочому положенні),мм	
висота	1900
довжина	890
ширина	700
довжина полоза	500
радіус закруглення дуги полоза	180
Маса пристрою (зібраного), кг	45

Для виконання робіт з заміни дефектних ізоляторів пристрій монтують на гірлянді ізолювальної підвіски, паралельно тій, що ремонтується. На чотири перші ізолятори (від стояка опори) накладають полоз, до нього підвішують стілець з монтерською приставкою. До полоза кріплять два ізолювальних поліпропіленових канати, один уздовж ізолювальної підвіски до стояка опори, інший – у протилежному напрямку до землі. За допомогою цих канатів низові електромонтери пересувають пристрій, з розміщеним у ньому електромонтером, уздовж ізолювальної підвіски до дефектного ізолятора. Висувними упорами фіксують положення монтерського стільця. При виконанні ремонтних робіт на

верхніх ізоляторів ізолювальної підвіски електромонтер піднімається на відкидну площадку.

Випробовування проводять для виготовлених ПНГ і після ремонту. У процесі експлуатації 1 раз на 12 місяців роблять періодичні випробовування. Монтерський стілець, приставку і полоз випробовують разом на спеціальному стенді за робочою схемою. Навантаження по черзі прикладають до стільця-приставки і відкидної площадки. Випробовувальне навантаження 1,9 кН.

Перед початком і після закінчення роботи пристрій оглядають – на ньому не повинно бути пошкоджень, деформацій; перевіряють натяг ременів, при необхідності регулюють. На металевих деталях не повинно бути корозії. При транспортуванні і збереженні треба уникати механічних пошкоджень.

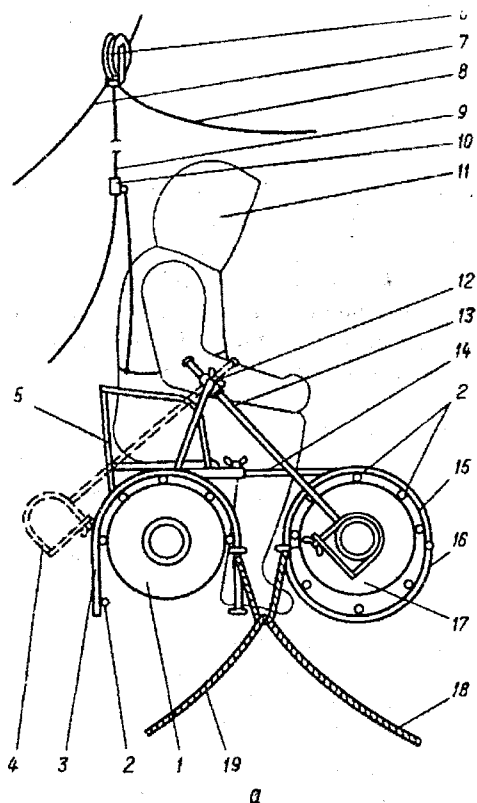


Рисунок 4.14,а – Пристрій для пересування вздовж натяжної ізолювальної підвіски одностоякової анкерної опори

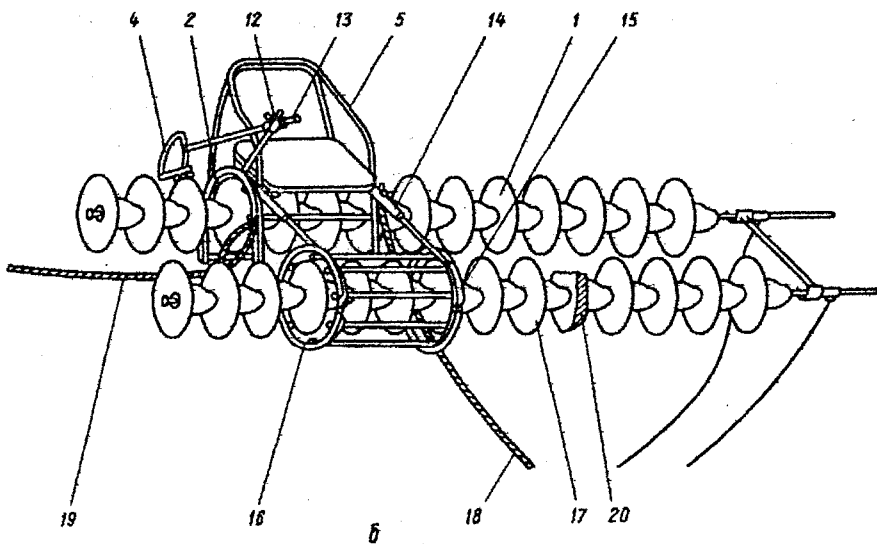


Рисунок 4.14,б – Пристрій для пересування вздовж натяжної ізоляційної підвіски двостоякової анкерної опори

Пристрій для пересування по натяжній ізоляційній підвісці одно- або двостоякової анкерної опори (ПНП) призначений для доставки електромонтера до місця проведення робіт з заміни окремих дефектних ізоляторів ПЛ надвисокої напруги. Пристрій ПНП (див. рис. 4.14) містить полоз 3, який встановлюється на неушкодженій гірлянді ізоляторів. Електромонтер 11, який виконує ремонт гірлянди 1, знаходиться на стільці 5, закріпленому у верхній частині полоза 3. Для запобігання перекидання стільця, полоз 3 з'єднаний змінним жорстким кріпленням 14 з другим полозом, який складається з двох, з'єднаних між собою, половин 15 і 16, які накладаються на непошкоджену гірлянду 17. Переміщення полозів 3 і 15 по торцях складових гірлянд ізоляторів 1 і 17 здійснюється по поздовжніх напрямних 2.

Частини полоза 15 і 16 ускладнюють доступ електромонтера до дефектного ізолятора 20 (див. рис. 4.14б), тому безпосередньо під час роботи, ці частини полоза знімаються, а стілець утримується від перекидання упорами 13, які одним кінцем за допомогою втулки 12 кріпляться до стільця, а іншим, за допомогою захвата 4, – до шапки ізолятора, суміжного з дефектним. Положення упора 13 показано на рис. 4.14,а під час виконання робіт – суцільними лініями, а під час транспортування – штриховими.

Для безпеки електромонтера застосована система страховки, яка складається з ізолювального поліпропіленового каната 9, затискача 10, рухомого блока 6 і фіксуючого каната 8. Канат 9 одним кінцем глухо закріплений до блока 6, який може переміщатися вздовж грозозахисного троса 7, для утримання блока в потрібному місці служить фіксуючий канат 8. Довжина каната 9 регулюється затискачем 10.

Пристрій переміщують члени бригади, які знаходяться на землі, за допомогою ізоляційних канатів 18 і 19.

Послідовність операцій, при виконанні робіт з заміни дефектного ізолятора, така. Пристрій монтується на двох верхніх гірляндах ізоляторів. На грозозахисному тросі, за допомогою ізолювальної штанги, монтується система страховки. На стільці пристрою розміщується електромонтер, одягнений у захисний екранувальний комплект. Пристрій переміщується вздовж гірлянди до дефектного ізолятора. Стілець за допомогою упора 13 фіксується до непошкодженої гірлянди, знімаються частини полоза 15 і 16 на ізоляторах, які суміжні з дефектним, встановлюється стяжний пристрій, за допомогою якого знімається навантаження з дефектного ізолятора 20, і він замінюється справним.

Перед початком і після закінчення роботи пристрій оглядають. Він не повинен мати пошкоджень, деформацій. Після ремонту і періодично, не рідше 1 разу на 12 місяців, ПНП піддається механічним випробовуванням; зусилля 1,9 кН прикладається до кожного полоза і до системи страховки.

#### Характеристика ПНП

Вантажопідйомна сила, кн.	1,5
Габаритні розміри при пересуванні, мм:	
висота	500
довжина	700
ширина	400

**Прилаштування для ремонту підтримуючих ізолювальних підвісок.** При ремонті підтримуючих ізолювальних підвісок необхідно елемент, який ремонтується, звільнити від механічного навантаження перекладанням його на додаткові підвіски з полімерними ізоляторами. Проводи фази ПЛІ переводяться на ізолювальні тяги домкратами (гідравлічними чи гвинтовими), встановленими на траверсі опори або безпосередньо біля проводу. Як ізолювальні тяги використовуються полімерні ізолятори.

Звільнену від механічного навантаження ізолювальну підвіску від'єднують від проводу, потім від траверси і, за допомогою лебідки з ізолювальним стропом, опускають. При заміні окремих дефектних елементів гірлянди ізоляторів підвіску опускають так, щоб дефектний ізолятор знаходився на рівні проводу, навантаження від розташованих нижче ізоляторів знімають за допомогою улаштування (вайми), що навішується на

провід. Дефектний ізолятор замінює електромонтер, який виконує роботи на струмопровідних частинах під напругою.

При необхідності виконання ремонтних робіт на багатьох ізоляторах підвіски (наприклад, заміна порцелянових ізоляторів скляними) підвіску, що ремонтується, опускають на землю і там виконують необхідні роботи. Заміну елементів ізолювальної підвіски до четвертого ізолятора, рахуючи від траверси, дозволяється робити без опускання гірлянди. При цьому електромонтер, який знаходиться на траверсі, використовуючи трап, переносить потенціал землі на шапку п'ятого, від траверси, ізолятора, заводить під його тарілку захват улаштування для заміни окремих ізоляторів, улаштування з'єднує з ізолювальним канатом лебідки. Лебідкою знімають навантаження з дефектного ізолятора, ізолятор демонтують.

Як силовий елемент в улаштуваннях застосовують домкрати гідравлічні чи гвинтові, які спеціально виготовлені для ВРН, і ті, що випускаються серійно промисловістю.

Перед початком і після закінчення роботи пристрої оглядають. Вироби не повинні мати видимих деформацій, пошкоджень. Перевіряють цілісність і справність зварних і нарізних з'єднань, надійність шплінтування, а також дію домкратів на піднімання і опускання.

Технічне обслуговування гідродомкратів виконують відповідно до заводської інструкції. Технічне обслуговування інших деталей улаштувань полягає в періодичному змащуванні осей роликів упорних підшипників, гвинтових пар мастилом УС або литолом. Випробуванням зусиллям, яке на 25% перевищує вантажопідйомність улаштування, піддаються вироби після ремонту і у процесі експлуатації не рідше одного разу на 12 місяців. Зберігати пристрої треба в сухих приміщеннях. При тривалому зберіганні рекомендується гвинти і ковзні поверхні покрити консистентним мастилом.

**Підйомник гвинтовий (ПГ)** (див.рис. 4.15) складається з корпусу 1, гвинта 4 і храпового механізму 3. Корпус зварний виконаний у вигляді балки. До кінців корпусу приварені опорні п'яти і прилаштовані захвати за косинець 2. По осі корпусу виконане гніздо для встановлення гвинтового механізму. Храповий механізм встановлюють на напівсферичній опорі 7 для зміни кута нахилу гвинта. Зменшення сили тертя при роботі храповика забезпечується розміщенням його в гнізді на шарикопідшипнику 6. На одному кінці гвинта є вушко 8 для приєднання полімерного ізолятора, на другому – ручка 5 для утримування гвинта від можливого провертання. Улаштування встановлюють на косинцях траверси перпендикулярно до її осі і закріплюють захватами 2.

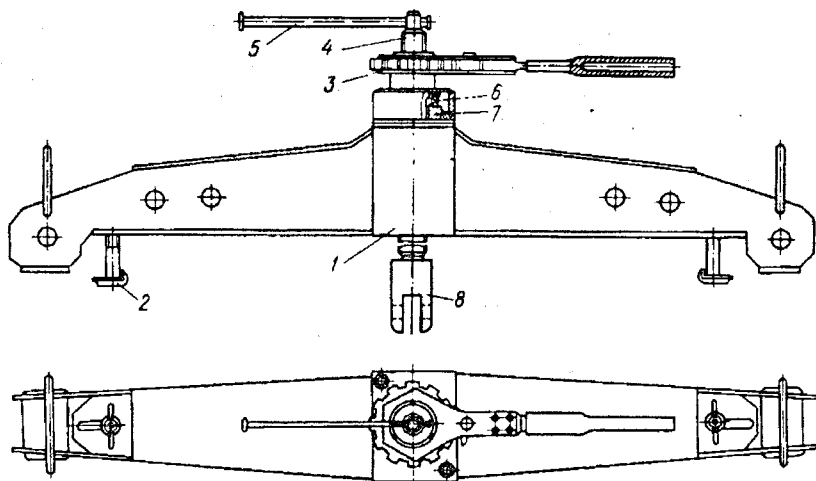


Рисунок 4.15 – Підйомник гвинтовий

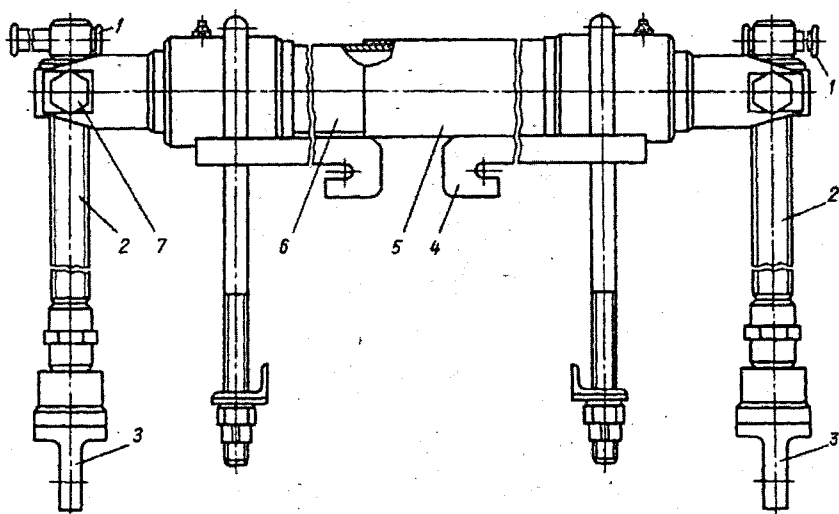


Рисунок 4.16 – Балка розсувна

**Балка розсувна (БР)** (див. рис. 4.16) є трубчатою розсувною конструкцією, яка складається з зовнішньої 5 і внутрішньої 6 труб. На кінцях труб шарнірно влаштовані гайки 7, з трапецеїдальною різьбою, і гвинти 2. Обертання гвинтів виконується за допомогою воротків 1. На кінці кожного гвинта змонтоване вушко 3 для приєднання полімерного ізолятора. Шарнірна рухомість гайки дозволяє виключити згинальний момент, а обертання вушок – крутильний момент, які можуть впливати на полімерний ізолятор. Балку встановлюють на верхніх несучих косинцях траверси і закріплюють за допомогою захватів за косинець 4. При дволанцюговій ізолювальній підвісці лінії механічне навантаження знімають не з усієї підвіски, а тільки з тієї частини, що ремонтується, за допомогою одного з гвинтів 2.

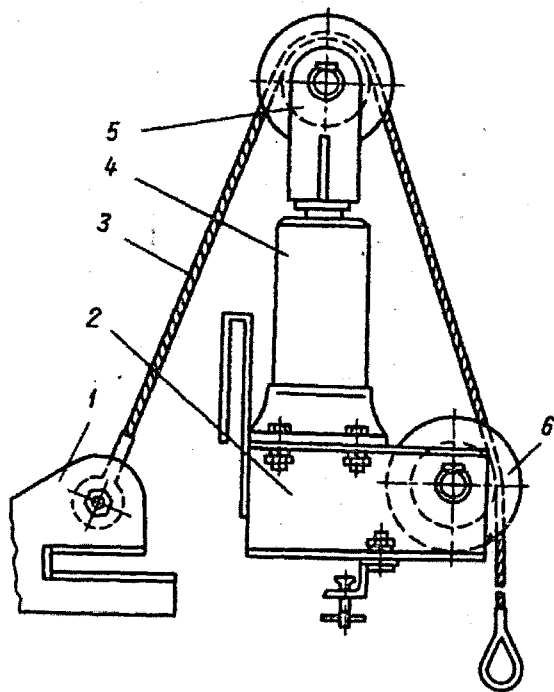


Рисунок 4.17 – Підривний пристрій

1 – якір; 2 – рама опорна; 3 – канат підривний; 4 – домкрат гідравлічний;  
5 – головка підривна; 6 – відсувний ролик

Гвинт балки через полімерний ізолятор з'єднують з захватом на проводі ПЛ. Обертанням гвинта створюється зусилля, яке звільняє гірлянди від навантаження. В залежності від розташування гірлянди, яка ремонтується, в роботі буде той чи інший гвинт. Знімають механічне навантаження з одноланцюгової ізолювальної підвіски за допомогою обох гвинтів.

Підривний пристрій (ПУ) (див. рис. 4.17) складається з домкрата 4, що монтується на рамі 2, конструкція якої пристосована для кріплення на траверсі ПЛ. На висувному штоку домкрата закріплена головка з опорним роликом. Металевий трос 3 одним кінцем закріплюється до нерухомого якоря 1, який монтується на косинці траверси ПЛ, пропускається через опорний ролик 5 і відповідний ролик 6. Другий кінець троса 3 призначений для приєднання полімерного ізолятора (ПІ).

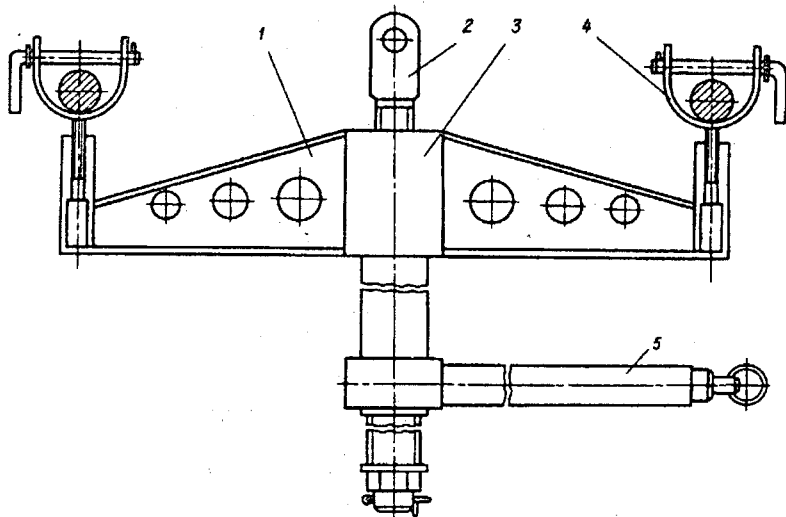


Рисунок 4.18 – Підхват гвинтовий

**Підхват гвинтовий (ПВ)** (див. рис. 4.18) складається з таврової балки 1 з двома човниками 4 для утримання проводу, тягового гвинта 2, гайки 3 і храпового механізму 5. У процесі ВРН гвинт 2 кріпиться до полімерного ізолятора, а ізолятор до траверси опори ПЛ. Проводи фази ПЛ, яка ремонтується, вкладають у човники 4 з замками для запобігання випадкового випадання проводу. При підготовці до ВРН проводять зовнішній огляд, перевіряють наявність мастила в корпусі гайки, оглядають храповий механізм, до ПВ приєднують полімерний ізолятор. Ізолятор з підхватом подають на траверсу опори ПЛ і закріплюють.

Електромонтер, який виконує роботи на потенціалі проводу, заводить проводи ПЛ у човники і закриває замки. Обертанням рукоятки храпового механізму навантаження з дефектної ізолювальної підвіски переводиться на полімерний ізолятор.

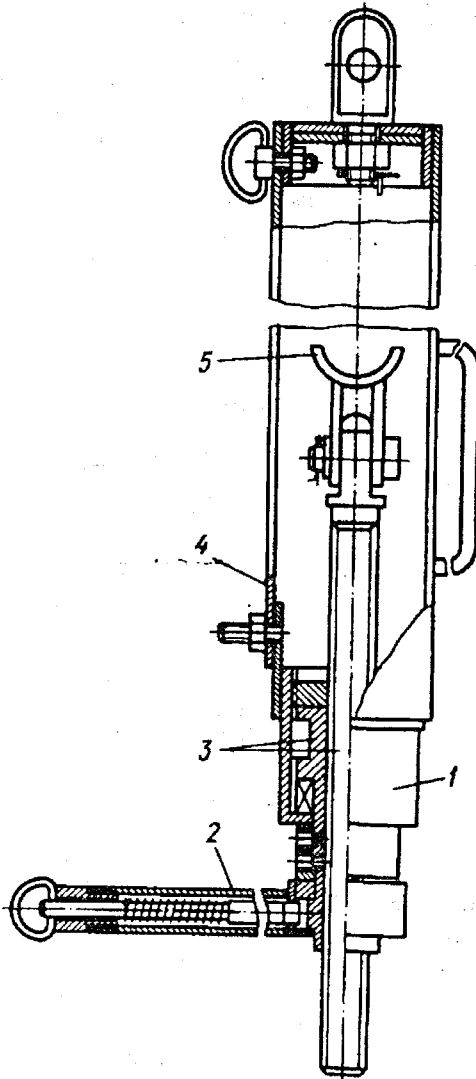


Рисунок 4.19 – Захват гвинтовий

**Захват гвинтовий (ЗГ)** (див. рис. 4.19) складається зі зварного металевого корпусу 1, у якому змонтований силовий механізм типу «гвинт-гайка» 3. Гайка обертається за допомогою храповика 2. На кінці гвинта шарпірно закріплений човник 5 для укладання проводу. Для заведення проводу в човник одна з шік корпуса 4 виконана відкидною. Напрямок руху гвинта змінюється реверсом храповика 3, ЗГ верхнім вушком кріплять до полімерного ізолятора, у човник заводять одиночний провід фази ПЛ. Підняття проводу здійснюють обертанням храповика 4 за годинниковою стрілкою.

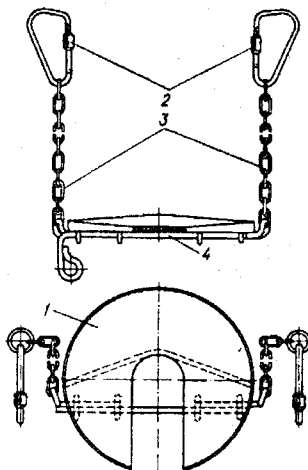


Рисунок 4.20 – Захват для заміни ізоляторів підтримуючих гірлянд

**Захват для заміни ізоляторів підтримуючих гірлянд (ВШП)** (див. рис. 4.20) призначений для утримання від'єднаної частини підтримуючої ізолювальної підвіски, розташованої нижче від дефектного ізолятора при його заміні. Складається з тарілки 1 з прорізом, до якого приєднуються ланцюги 3 з карабінами 2. У нижній частині тарілки є запірний штир 4. При проведенні робіт прилаштування за допомогою ланцюгів з карабінами підвішують до проводів ПЛ. Гірлянди приспускають і тарілку улаштування заводять під ізолятор ПЛ, розташований нижче від дефектного. Фіксують підвішений ізолятор у тарілці за допомогою запірного штиря. При подальшому опусканні гірлянди відбувається зависання її нижньої частини, це дозволяє звільнити від навантаження дефектний ізолятор і здійснити його заміну.

**Прилаштування для заміни ізоляторів натяжних гірлянд (ВН - вайма)** (рис. 4.21) призначене для зняття осьового навантаження від натягу проводу з дефектного ізолятора. Воно складається з двох захватів 1, які кріпляться до шапок ізоляторів ПЛ і двох гвинтових стяжок 2, з'єднаних між собою допоміжними ланками 3 і пальцями 4.

**Стяжка гвинтова** (рис. 4.22) є механізмом, базовою деталлю якого є гвинт 6 з трапецеїдальною різьбою. На обидва кінці гвинта насаджені ходові муфти, які складаються з ходової каретки 4 і наконечника 7. Корпус ходової каретки жорстко з'єднаний з наконечником і утворює корпус муфти. Гайка 8 з трапецеїдальною різьбою насаджена в корпусі на шарикопідшипник 3 і притиснута різьбовою пробкою 2. У корпусі каретки встановлені два пружинні фіксатори 5, які забезпечують жорстке з'єднання корпусу з гайкою. Гвинт обертається за допомогою храпового механізму 1. Храпове колесо механізму 10 з'єднане з гвинтом за допомогою шпонок 9. Підпружинені собачки утримують храповик у заданому положенні. Конструкція гвинтової стяжки дозволяє створювати

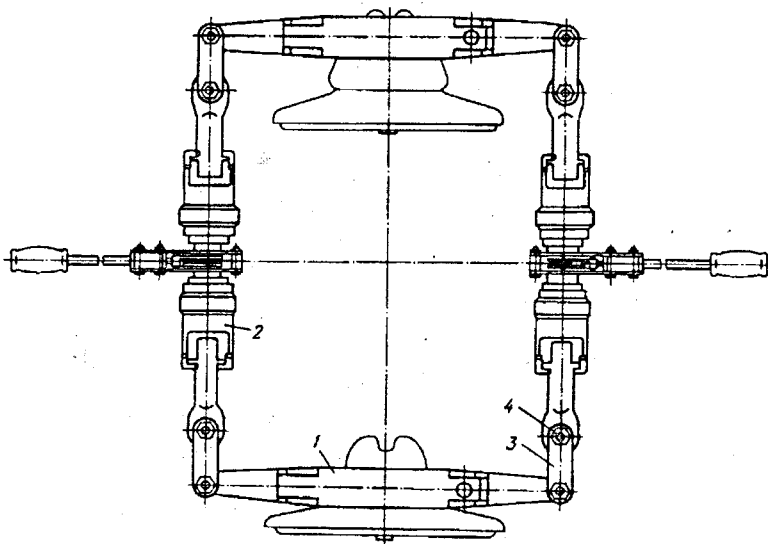


Рисунок 4.21 – Улаштування для заміни ізоляторів натяжних гірлянд

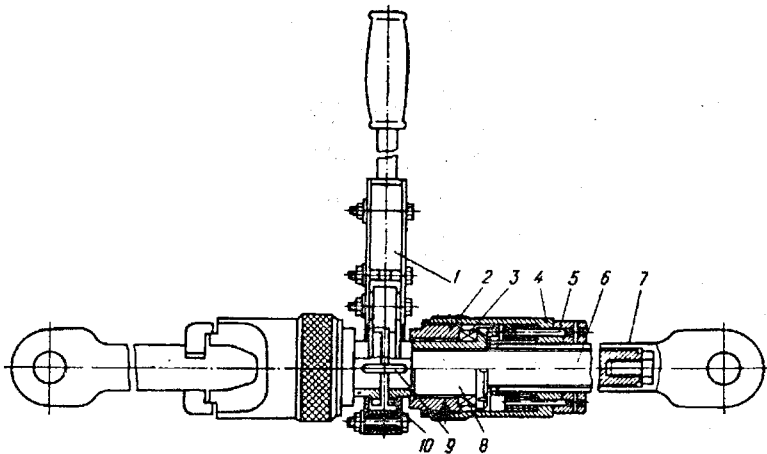


Рисунок 4.22 – Стяжний гвинтовий пристрій

навантаження за допомогою однієї муфти (при від'єднанні другої) чи двох муфт одночасно. Від'єднання здійснюється шляхом виведення пружинних фіксаторів із зачеплення з гайкою. В цьому випадку гайка на підшипнику обертається разом з гвинтом без передавання крутільного моменту. Створення максимального зусилля досягається при роботі однієї з муфт.

Встановлення ВН на гірлянди ізоляторів здійснюється при розведених гвинтах і відкритих відкидних колодках. Колодки заводять на шапки ізоляторів, замикають, і за допомогою гвинтових стяжок навантаження від натягу проводу з ділянки гірлянди переноситься на улаштування, звільняючи дефектний ізолятор.

**Домкрат гвинтовий (ДВ)** (див. рис. 4.23) призначений для зняття механічного навантаження з натяжної гірлянди ізоляторів розщепленої фази. Він складається з корпусу 2, гвинта 1 і храпового механізму 3. Корпус виконаний у вигляді скоби, в яку вмонтовано гніздо для встановлення шарикопідшипника 5 храповика 4. Храповик двосторонньої дії забезпечує хід гвинта. Скоба корпусу домкрата з'єднана з проміжною ланкою натяжної дефектної гірлянди ізоляторів. Вушко гвинта через шарнірний вузол закріплене на косинці стояка опори. Обертанням рукоятки храповика навантаження вузла кріплення гірлянди переводять на улаштування, звільнене від навантаження, проміжну ланку розчіплюють. Перед початком і після закінчення роботи улаштування оглядають. На ньому не повинно бути деформацій і пошкоджень.

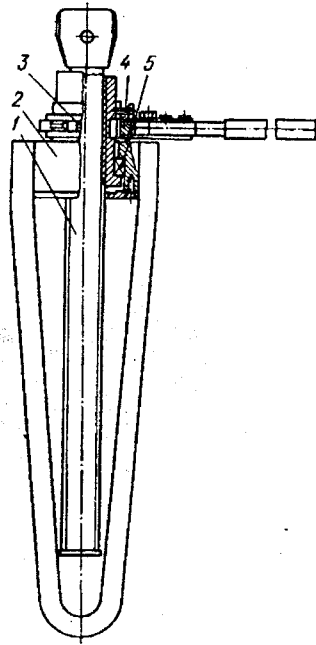


Рисунок 4.23 – Домкрат гвинтовий

Далі перевіряють затягування гвинтових з'єднань, роботу храповика при обертанні в обох напрямках. Гвинт повинен обертатися легко, без заклинювань по всій довжині. Змащують підшипник при необхідності.

**Прилаштування для заміни ізоляторів натяжних гірлянд (вайма полегшена) ВП** призначена для зняття осевого навантаження від ваги гірлянди з дефектного ізолятора, який підлягає заміні. Використання прилаштування можливе тільки в тому випадку, коли підвіска гірлянди вивільнена (наприклад, домкратом гвинтовим) від натягу проводу. Для забезпечення натягу в гірлянді не більше 10 кН, початкова довжина гірлянди повинна бути збільшена на 100 мм (не менше).

Улаштування (див. рис. 4.24) складається з двох вайм 1 і двох гвинтових стяжок 2. Вайма складається з двох колодкових частин, шарнірно з'єднаних між собою. Гніздо вайми відповідає геометричним розмірам шапки певного типу ізолятора. Гвинти і гайки гвинтових стяжок мають відповідно ліву і праву різьби, що дозволяє здійснювати натяг за

допомогою обертання корпуса гайок 3. Наконечники гвинтів гвинтових стяжок заводяться в пази вайми і утримуються фіксаторами 4.

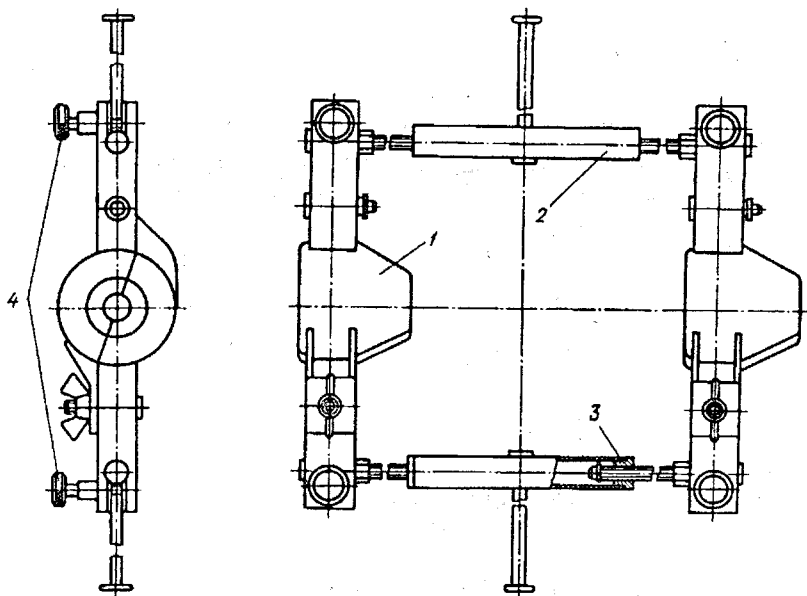


Рисунок 4.24 – Стяжний гвинтовий полегшений пристрій

При ВРН вайми встановлюються на шапках ізоляторів так, щоб між ваймами знаходилося чотири ізолятори, один-два з яких підлягають заміні. Гвинтовими стяжками знімається осове навантаження з гірлянди і переводиться на прилаштування. Ізолятори звільнюються і демонтуються.

Пристрій для доставки (ПД) з використанням каретки, яка переміщується по напрямному канату призначений для переміщення електромонтера в монтерському стільці (МС) від стояка опори до проводу, який знаходиться під напругою, і назад. Пристрій (див. рис. 4.25) монтується під траверсою опори ПЛ. Напрячний канат 3 за допомогою захватів 2 кріпиться знизу несучих косинців траверси опори з таким розрахунком, щоб стріла його прогину становила близько 0,9 м. Захвати закріплюють по діагоналях площини траверси. Один із них встановлюється біля вузла кріплення гірлянди, другий – поблизу стояка опори. Відстань між місцями кріплення захватів повинна бути на 1 м меншою від довжини каната. По канату пересувається каретка 4, до якої через полімерний ізолятор 1 підвішений МС. Інший кінець каретки

з'єднаний з тяговим канатом. П ручної лебідки. При підніманні чи опусканні МС каретка переміщується по канату, який одночасно служить

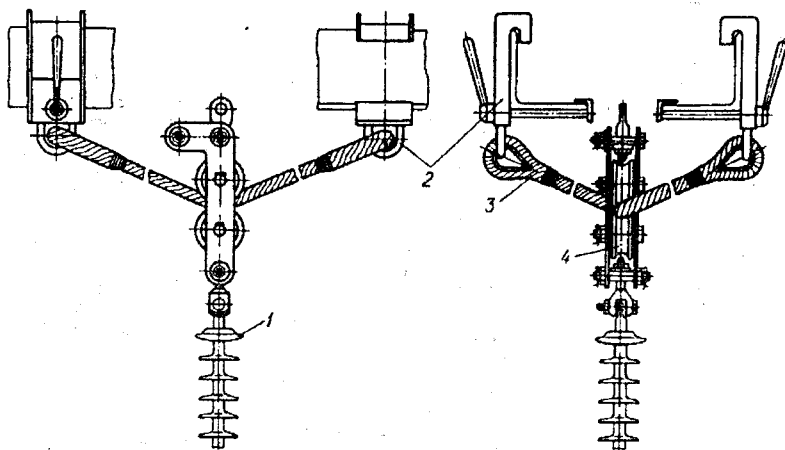


Рисунок 4.25 – Пристрій для доставки електрика до фазного проводу

як страхувальний у випадку відмови лебідки або обриву тягового каната. Рух МС відбувається по заданій траскторії в залежності від стріли прогину. Напрямний канат є капроновим стропом довжиною 7,5 м. Петлі каната з'єднуються з вушками захватів.

Захват (див. рис. 4.26) складається з двох зачепів 1, 2 за полки косинців, перпендикулярно розташованих відносно один до одного.

Каретка (див. рис. 4.27) складається з двох щік 5, між якими на осях 4 встановлені напрямні ролики 1. У нижній частині каретки шарнірно встановлене дволапчате вушко 6 для приєднання полімерного ізолятора. У верхній частині каретки шарнірно встановлене однолапчате вушко 3 для приєднання тягового каната. На консольній частині щік є палець 2 для приєднання кріпильного ланцюга. Напрямний канат проходить між роликами. Глибина жолоба роликів і міжосьова відстань вибрані з урахуванням запобігання випадання і заклинювання каната між роликами.

При підготовці ПД до роботи за допомогою ручної лебідки, ізоляційного каната і гірлянди полімерних ізоляторів монтерський стілець піднімають до проводу, перевіряють стан ізоляції робочою напругою, після чого кріплять за допомогою захватів на траверсі напрямний канат ПД (див. рис. 4.25).

Зворотним ходом лебідки відпускають тяговий канат П. При цьому каретка 4 під вагою монтерського стільця М ковзає по напрямному канату 3 вниз і у бік стояка опори. Решта наближення до стояка виконується за

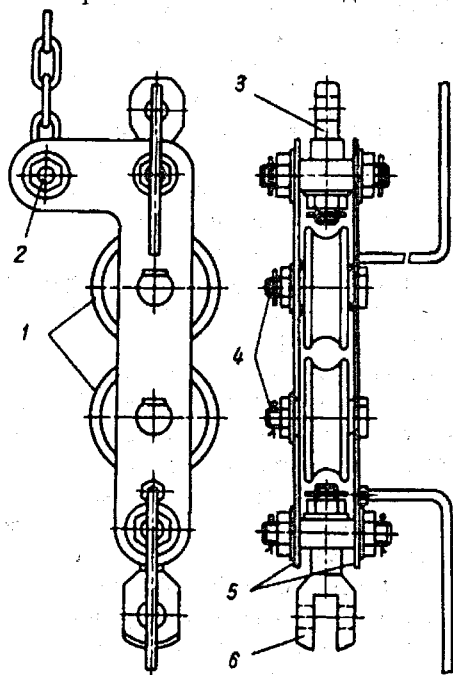


Рисунок 4.27 – Каретка пристрою для доставки електромонтера до фазного проводу

допомогою каната керування. В МС знаходиться електромонтер, котрого за допомогою лебідки переміщують до проводу. На початку рух каретки з МС відбувається в горизонтальному напрямку, поки МС не опиниться під блоком піднімання. З цього моменту відбувається вертикальне піднімання електромонтера до рівня проводу. Кінець полімерного ізолятора з кареткою виходить на рівень траверси, і електромонтери ланцюгом закріплюються на траверсі опори.

Тяговий канат звільняється і використовується для інших технологічних операцій. Доставка електромонтера до стояка опори по закінченні ремонтних робіт виконується в зворотному порядку.

Перед початком і по закінченні робіт усі складові вузли треба оглянути, перевірити стан напрямного каната, зварних швів, надійність затягування різьбових з'єднань, шплінтування, заплетіння, рухомість

При виявленні зносу, обриву пасм, послаблення заплетіння канат відбракується. На металевих деталях не повинно бути тріщин, деформацій. Зберігається ПД в сухому приміщенні.

**Візок для переміщення по проводах п'ятипровідної розщепленої фази (ВМ)** (див. рис. 4.28) призначений для пересування по проводах розщепленої п'ятипровідної фази ПЛІ 750 кВ і складається з трубчатого каркаса 11, піддона 10, двох півосей з каретками 3, які мають по два широких ходових ролики 5, гвинтових стяжок 8 з додатковими роликами 2, знімного сидіння 9. Візок може переходити через кулачки дистанційних розпірок, а також при використанні гвинтових стяжок і бічних поворотних роликів, здійснювати перехід через підтримувальний захват. Піднімають ВМ до проводу з землі в безпосередній близькості від підтримуючої гірлянди за допомогою ізоляційного каната, перекинутого через блок, встановлений на проводах. Монтують ВМ накладанням кареток з роликами на проводи і з'єднанням півосей різьбовою муфтою.

Перехід електромонтера в ВМ здійснюється з монтерського стільця, ізолюваного від заземлених частин опори. При наближенні ВМ до підтримувального захвата, приблизно, посередині між підтримувальним захватом і найближчою розпіркою, поворотні бічні ролики 7 встановлюють на середині проводу фази. Відстань між каретками 3 і поворотними роликами 7, а також взаємне розташування роликів вибирають так, щоб при безпосередньому наближенні до підтримувального захвата навантаження повністю переносилось на поворотні ролики. Потім здійснюють страховку ВМ канатами за проводи і встановлюють допоміжні ролики 2 на нижній провід, причому передній по ходу візка ролик встановлюють за підтримувальним захватом. Вага візка за допомогою гвинтових стяжок 1 переноситься на допоміжні ролики. Роз'єднують різьбову муфту 6, і півосі кареток розводять у сторони. Поворотні ролики 7 знімають з проводів і відводять у сторони. Візок підтягують до підтримувального захвата. При цьому каретки 3 переходять за підтримувальний захват. На проводи встановлюють поворотні ролики 7, з'єднують різьбову муфту півосей, знімають з проводу додаткові ролики і страховальні канати. Після віддалення візка від підтримувального затискача навантаження переноситься на ролики кареток.

Після послаблення навантаження поворотні ролики знімають з проводів і відводять у сторони. При проведенні робіт у прогоні, без необхідності переходу через підтримувальний захват, допоміжні ролики 4 з кронштейнами на візку можуть не встановлюватися.

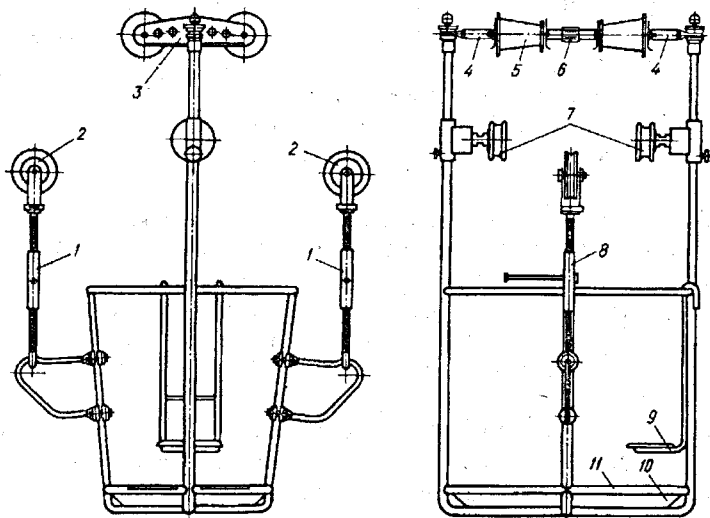


Рисунок 4.28 – Візок для переміщення по проводах

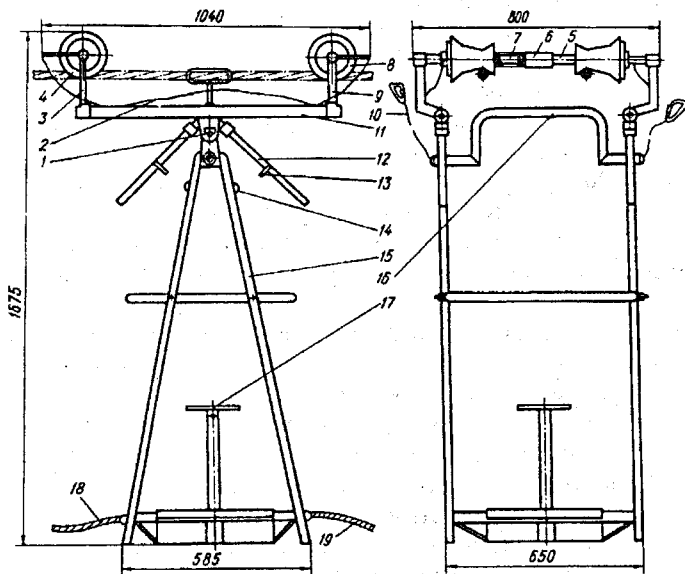


Рисунок 4.29 – Стілець-візок

**Стілець-візок СТ-1** (див. рис. 4.29) при ПРН 330 і 500 кВ призначений для транспортування електромонтера від заземлених до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою, а також для транспортування електромонтера по проводах у будь-яке місце між анкерними опорами. СТ-1 складається з шарнірно з'єднаних між собою візка для переміщення по проводах і стільця, у якому знаходиться електромонтер.

Візок складається з рами 11, до якої жорстко прикріплені важелі 12 з захватами 13. До рами 10 приєднані стояки 3 і 9 з передніми 4 і задніми 8 ходовими колесами. Стояки 3 і 9 можуть обертатися в площині, перпендикулярній до проводів. При переміщенні візка по фазі ПЛ, розщепленої на 2 і більше проводів, на верхні два проводи встановлюються чотири ходових колеса 4 і 8. Півосі 5 й 7 коліс з'єднані одна з одною за допомогою розрізної муфти 6.

До візка шарнірно (шарнір 1) кріпиться стілець 5, на якому є вузли 14 для з'єднання з захватами 12. Для безпеки, в разі сходження коліс візка з проводів ПЛ, він забезпечений страхувальними тросами 11, які можуть замикатися навколо проводу ПЛ чи кріпитися до підтримувального затискача ізоляційної підвіски. Електромонтер у стільці розташовується на поворотному сидінні 16. Зупинка в місцях виконання робіт забезпечується гальмами, керованими канатом 2. Ізолювальні канати 18 і 19 прикріплені до стільця 15 і використовуються для переміщення пристрою вздовж проводів і фіксування візка під час виконання робіт.

Стілець 15 має траверсу 16, до якої кріпиться система піднімання пристрою 17 з електромонтером, що знаходиться в ньому.

При виконанні робіт на струмопровідних частинах ПЛ електромонтер, одягнений у захисний комплект одягу, розташовується в стільці-візку. До траверси 16 кріпляться ізолятори і канати системи піднімання. Електромонтер у стільці доставляється до проводів. Поблизу струмопровідних частин, які знаходяться під напругою, він накладає ходові колеса 4 і 8 на проводи, з'єднує півосі 5 і 7 муфтами 6, від'єднує від траверси ізолятор і канат системи піднімання. Далі стілець-візок використовується як візок для переміщення по проводах. Ширина робочої поверхні ходових коліс вибрана так, щоб компенсувати можливі зміни відстаней між розщепленими проводами.

Послідовність операцій при переході через підтримувальний затискач ізоляційної підвіски: стілець-візок наближається передніми ковзаннями 4 виритул до перешкоди, страхувальні канати 10 кріпляться до підтримувального затискача, стілець 15 підтягується до заднього важеля 12, захват 13 заводиться у вузол 14. При цьому центр ваги пристрою перебуває зміщеним під задню вісь коліс, а передня вісь звільнена від навантаження і піднімається над проводами. Розчіплюється муфта 6

передньої осі, колеса її відводяться від проводу, візок пересувається по проводах до підтримувального затискача, на проводи ПЛ накладаються передні колеса 4, замикається муфта 6, від'єднуються від візка задні важелі 12, і з'єднуються зі стільцем 8 передні важелі. Центр ваги переноситься під задні колеса, які можуть бути відведені від проводу і візок відводиться від затискача ПЛ. На проводи накладаються задні колеса 8, від'єднуються від стільця захвати 13, від підтримувального затискача від'єдується страхувальний трос 11.

**Допоміжні прилаштування.** При ПРН застосовуються різні види прилаштувань: для кріплення полімерних ізоляторів до опор, для кріплення монтерського стільця і лебідки до стояка опори.

Трапи і допоміжні площадки використовуються для забезпечення зручності розташування електромонтера при виконанні роботи в незручних умовах. Монтуються вони, як правило, на траверсі ПЛ.

Балки застосовують для кріплення прилаштувань на опорі. У зв'язку з різноманітними конструкціями елементів опор ПЛ, розробляють і застосовують балки для конкретного виду опор. Брезент чи подібний до нього синтетичний матеріал використовують для розміщення на ньому в процесі робіт засобів захисту, пристроїв і улаштувань.

Пластмасові бочки використовують для перевезення і кріплення канатів з метою запобігання їхнього забруднення. Під час ВРН бочки використовують також для укладання в них невикористаних в роботі канатів.

Пластмасові трубчаті пенали використовують для перевезення і збереження полімерних ізоляторів, з метою запобігання пошкоджень і забруднення їхньої поверхні.

Ізолятори в процесі робіт укладають на спеціальні стійки з метою забезпечення зручності їхнього огляду, очищення і підготовки до роботи. Для кріплення до землі блоків нескінченного каната використовують гвинтові якори.

Інструмент монтерський необхідний для виконання технологічних операцій, а також для усунення окремих дефектів устаткування і улаштувань, що вишикають у ході ВРН. Інструмент повинний зберігатися в спеціальній сумці. Мінімальний набір: плоскогубці, викрутка, напилік, молоток, гайкові ключі, ніж, наждакова полотнина. Крім того, бригада повинна мати: брукхт, кувалду, лопату, ножівку для металу, сокиру. Аптечка повинна бути на місці виконання робіт і укомплектована набором медикаментів для надання першої допомоги при раптових захворюваннях, травмах і нещасних випадках. Вимірвальні прилади, які застосовуються для контролю засобів захисту і погодних умов на місці провадження робіт: омметр, анемометр, баротермогігрометр. Омметр застосовують для вимірювання опору постійного струму захисного комплексу одягу. Класу

точності омметра, практично, не ставляться обмеження, можна використувати прилад класу точності 4 чи, навіть, індикаторний; повинно забезпечуватися вимірювання величин 10 і 100 Ом, живильна напруга приладу не повинна перевищувати 10 В. Анемометр застосовують для вимірювання швидкості вітру. ВРН дозволяється при швидкості вітру не більше 10 м/с, при такому вітрі гойдаються верхівки і великі гілки дерев, на поверхні водоймищ з'являються «баранчики». Баротермогігрометр вимірює атмосферний тиск, температуру і вологість навколишнього повітря.

Для зв'язку керівника робіт з електромонтерами на опорі необхідно використовувати мегафон чи малогабаритні радіостанції.

### Контрольні запитання

1. Які пристрої для ремонтів в натяжних гірляндах використовуються?
2. Які пристрої існують для доставки електромонтера до місця виконання ремонтів під напругою?
3. Як звільняється підвісна гірлянда від проводу?

## ЛІТЕРАТУРА

1. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок. – М.: Энергия. – 160 с.
2. Удод. Е.И. Ремонт электроустановок под напряжением. – Киев.: Техника. – 1986. – 170 с.
3. Мерхалев С.Д., Соломоник Е.А. Изоляция линий и подстанций в районах с загрязненной атмосферой. – М.: Энергия, 1973. – 158 с.
4. Разрядные напряжения воздушных промежутков и гирлянд изоляторов / Т.Н. Александров, В.Е. Кизеветтер, В.М. Рудакова, А.Н. Тушков // Электричество. – 1972. – № 5. – С.37-43.
5. Технологические карты производства работ под напряжением на ВЛ 220-750 кВ. – К.: Техника, 1988. – 200 с.
6. Долгинов А.И. Техника высоких напряжений в электроэнергетике, М., «Энергия», 1968. – 464 с.
7. Нормы испытания электрооборудования. – М. Энергия, 1986. – 362 с.
8. Собчук В.С., Юсеф Диб Моххамед. Дослідження по координації випробувальної напруги з характеристиками оснастки для робіт під напругою // Вісник ВПІ. 1995. № 2. С. 52–54.
9. Нормирование напряженности электрического поля промышленной частоты по порогу болевого раздражения электрическими разрядами / Т.И. Кривова, С.А. Лебедева, Ю.А. Морозов и др. // Защита от действия электрических полей. – М., 1973. – С. 7-16.
10. Поспелова Т.Г. Проблемы учета влияния воздушных линий на окружающую среду // Энергетическое строительство. 1989. № 7. С. 24–26.
11. Руководящие указания по защите персонала, обслуживающего распределительные устройства и воздушные линии электропередачи переменного тока напряжением 400, 500 и 750 кВ от воздействия электрического поля / СПО «Союзтехэнерго». – М., 1981. – 38 с.
12. В.П. Коробкова, Ю.А. Морозов, М.Д. Столяров, Ю.А. Якуб. Воздействие электрического поля распределительных устройств 500 и 750 кВ на обслуживающий персонал и средства для его защиты // Подстанции переменного тока. – М.: Энергия, 1974. – С. 33 – 42.
13. Морозов Ю. А., Громов О. М. Прибор для измерения напряженности электрического поля промышленной частоты. – В кн.: Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. М., Профиздат, 1970, вып. 65, с. 41–44.
14. Долин П.А. Работы под напряжением на воздушных линиях электропередачи. – М.: Госэнергоиздат, 1962. – 242 с.
15. Нормы и правила по охране труда на подстанциях и воздушных линиях электропередачи 400, 500 и 750 кВ переменного тока промышленной частоты / СПО «Союзтехэнерго». – М., 1972. – 36 с.

16. Нормы и правила по охране труда при работах на подстанциях и воздушных линиях напряжением 400,500 и 750 кВ переменного тока промышленной частоты. СЦНТИ ОРГРЭС, 1971.
17. Левитов В.И. Корона переменного тока. Вопросы теории, методов исследования и практических характеристик. М., «Энергия», 1975. – 280 с.
18. В.И.Чехов Экологические аспекты передачи электроэнергии. М.: Изд-во МЭИ, 1991. – 44 с.
19. Дегтярев В.В. Охрана окружающей среды. М.: Транспорт, 1989. 207 с.
20. Азерникова Т.И., Емельянов Н.П. Акустический шум от линии 1150 кВ // Электрические станции. 1985. № 5. С. 54 – 57.
21. ДНАОП 0.03-33.14-85. Санітарні норми допустимих рівнів шуму на робочих місцях.
22. Барг И.Г., Эдельман В.И. Воздушные линии электропередачи. Вопросы эксплуатации и надежности. – М.: Атомиздат, 1985. – 247 с.
23. Дядищев Б.А., Хоменко П.И. Справочник по эксплуатации и ремонту высоковольтных линий электропередачи. – К.: Техника, 1984. – 192 с.
24. Защитная экранирующая одежда для работ под напряжением / Е.И. Удод, В.С. Король, В.Л. Таловерья и др. // Электрические станции. – 1985. - № 9. – С. 58 – 62.
25. Богданова Н.Б. Начальные напряжения короны на проводах. – В. кн.: Электроэнергетика, вып. 7. М., изд-во АН СССР, 1963, с. 3 – 15.
26. Кац Р.А. Влияние электрического поля открытых распределительных устройств и воздушных линий переменного тока на человека, защищенного экраном // Исследование электрического поля линий и подстанций СВН переменного и постоянного тока. Тр. НИИПТ. Л.: Энергоатомиздат. 1985. С. 55 – 61.
27. Колесников С.В., Чухловин Б.А. К механизму взаимодействия переменного электрического поля промышленной частоты с организмом человека и животного // Письма в ЖТФ. 1978. Т. 4. Вып. 15. С. 935 – 939.
28. Пospelова Т.Г. Некоторые результаты исследования экологического воздействия линии электропередачи сверхвысокого напряжения // Энергетика и транспорт. 1988. № 4. С. 149 – 157.
29. Тиходеев Н.Н. Защита населения и персонала от влияния воздушных ЛЭП – 1150 кВ // Энергетика и транспорт. 1987. № 3. С.152 – 157.
30. Ремонт ВЛ 220-750 кВ под напряжением / С.Е. Алферов, О.И. Кульматицкий, В.Л. Таловерья и др. // Электрические станции. – 1985. № 5. – С. 52 – 54.

*Навчальне видання*

Валерій Степанович Собчук  
Наталія Валеріївна Собчук

## **ТЕХНОЛОГІЇ РОБІТ ПІД НАПРУГОЮ**

Навчальний посібник

Оригінал-макет підготовлено Н.В. Собчук  
Редактор В.О. Дружиніна  
Коректор Ю.І. Франко

Навчально-методичний відділ ВНТУ  
Свідоцтво Держкомінформу України  
серія ДК № 746 від 25.12.2001  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ

Підписано до друку 8.11.2006р  
Формат 29,7×42 ¼  
Друк різнографічний  
Тираж 75 прим.  
Зам. № 2006-180

Гарнітура Times New Roman  
Папір офсетний  
Ум. друк. арк. 5,55

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі  
Вінницького національного технічного університету  
Свідоцтво Держкомінформу України  
серія ДК № 746 від 25.12.2001  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ