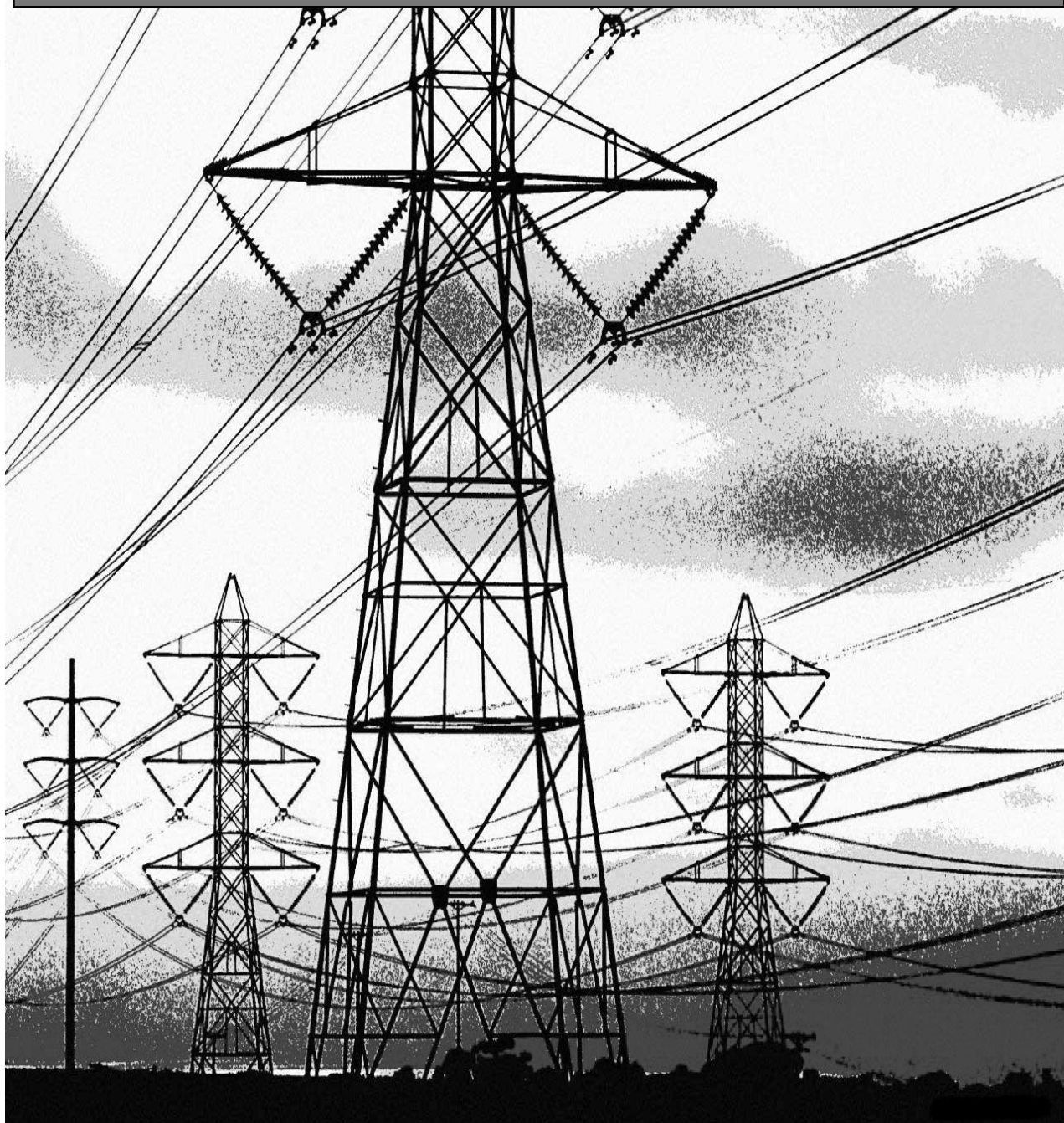


С.В. КАЗАНСЬКИЙ

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ



**ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ
ПІД РОБОЧОЮ НАПРУГОЮ**

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

С.В. КАЗАНСЬКИЙ

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ

**ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ
ПІД РОБОЧОЮ НАПРУГОЮ**

*Затверджено Вченою радою НТУУ «КПІ»
як навчальний посібник для студентів,
які навчаються за спеціальністю
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*

Київ
НТУУ «КПІ»
2016

*Гриф надано Вченою радою НТУУ «КПІ»
(протокол № 5 від 11 квітня 2016 р.)*

Рецензенти: Ю.І. Тугай, д-р техн. наук, завідувач відділом,
Інститут електродинаміки НАН України
М.Ф. Сопель, д-р техн. наук, пров. наук. співробітник,
Інститут електродинаміки НАН України

Відповідальний редактор: В.В. Кирик, д-р техн. наук, проф.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

Казанський С.В.

Експлуатація електричних систем: Обслуговування електричних мереж під робочою напругою: навч. посіб. / С.В. Казанський. – Київ.: НТУУ «КПІ», 2016. – 237 с. – Бібліогр.: с. 236-237.

Проаналізовано світовий та вітчизняний досвід організації обслуговування повітряних ліній електропередачі, що перебувають під робочою напругою. Наведено обґрунтування доцільності застосування новітніх технологій обслуговування та ремонту повітряних ліній електропередачі під робочою напругою. Наведено докладний опис технологій обслуговування під робочою напругою електричних мереж різних класів напруги.

Наведено методику та приклади розрахунку електричного та магнітного полів повітряних ліній електропередачі.

Для студентів вищих навчальних закладів спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Може бути корисним для фахівців, які займаються дослідженням, проектуванням та експлуатацією обладнання електричних мереж та систем.

ЗМІСТ

Вступ	5
Розділ 1. Світовий та вітчизняний досвід з обслуговування електричних мереж під робочою напругою	7
1.1. Міжнародні конференції з організації робіт під робочою напругою	7
1.2. Проведення робіт ПРН у США.....	9
1.3. Проведення робіт ПРН у Канаді.....	14
1.4. Проведення робіт ПРН у Франції.....	15
1.5. Проведення робіт ПРН у Китаї.....	21
1.6. Проведення робіт ПРН у Польщі, Угорщині, Чехії і Словаччині...	26
1.7. Приклади міжнародної співпраці.....	27
1.8. Із вітчизняного досвіду проведення робіт ПРН.....	33
Висновки. Завдання для самоперевірки.....	42
Розділ 2. Умови виконання робіт під напругою та дотримання правил безпеки	43
2.1. Нормативна база щодо безпечного виконання робіт ПРН.....	43
2.2. Вплив електромагнітного поля під час проведення робіт ПРН.....	56
2.3. Розрахунок напруженості електричного поля ПЛ.....	63
2.4. Розрахунок індукції магнітного поля ПЛ.....	67
2.5. Основні організаційні заходи проведення робіт під напругою.....	70
2.6. Умови безпечного проведення робіт під напругою.....	75
2.7. Вимоги до персоналу, який готує і виконує роботи ПРН.....	78
2.8. Моделювання розподілу напруги вздовж гірлянди ізоляторів повітряної лінії електропередачі.....	89
2.9. Прогнозування перекриттів ізоляції під час виконання робіт на ПЛ, що перебуває під робочою напругою.....	102
Висновки. Завдання для самоперевірки.....	108
Розділ 3. Виконання робіт під робочою напругою в електричних мережах 0,4 – 35 кВ	109
3.1. Класифікація методів та основних захисних засобів під час виконання робіт під напругою в електричних мережах 0,4 – 35 кВ.....	109
3.2. Застосування лінійних шлангів і килимків.....	117
3.3. Установлення твердого ізолювального покриття на провід.....	119
3.4. Установлення ізолювальної робочої площадки.....	121
3.5. Приклади робіт ПРН в електричних мережах 0,4 – 35 кВ	124
Висновки. Завдання для самоперевірки.....	129

Розділ 4. Виконання робіт під робочою напругою в електричних мережах 110 – 750 кВ.....	130
4.1. Загальні положення. Організація підготовчого етапу.....	130
4.2. Способи доставляння електромонтера до місця виконання робіт...	136
4.3. Розміщення електромонтерів перед початком та в процесі виконання робіт.....	146
4.4. Виконання найпоширеніших видів робіт ПРН в електричних мережах 110 – 150 кВ.....	153
4.5. Виконання найпоширеніших видів робіт ПРН в електричних мережах 220 – 750 кВ.....	158
4.6. Роботи під напругою в розподільних пристроях підстанцій.....	176
Висновки. Завдання для самоперевірки.....	179
Розділ 5. Роботизовані комплекси з обслуговування електричних мереж під робочою напругою.....	180
5.1 Розроблення роботизованих комплексів для обслуговування електричних мереж під робочою напругою у США.....	181
5.2. Розроблення роботизованих комплексів для обслуговування електричних мереж під робочою напругою у Канаді.....	187
5.3. Розроблення роботизованих комплексів для обслуговування електричних мереж під робочою напругою у Японії.....	192
5.4. Розроблення роботизованих комплексів для обслуговування електричних мереж під робочою напругою у Франції.....	205
5.5. Впровадження роботизованих систем в Україні.....	211
5.6. Роботизовані системи для заміни тросу на ПЛ 330–750 кВ під робочою напругою.....	219
Висновки. Завдання для самоперевірки.....	234
Список рекомендованої літератури.....	235

ВСТУП

Новітні технології виконання ремонтних робіт на лініях і підстанціях без їх відключення, тобто під робочою напругою – ефективний шлях забезпечення надійної й економічної роботи електроустановок усіх класів напруги. На теперішній час створено передумови для докорінного перегляду принципів побудови схем електричних мереж і конструкцій електроустановок з якнайширшим використанням технології їх обслуговування під робочою напругою як основи підвищення надійності й економічності роботи електричних мереж.

Навчальна дисципліна «Експлуатація електричних систем» належить до циклу професійно-практичної підготовки спеціалістів та має на меті набуття знань з технології експлуатації електрообладнання з метою вирішення завдання підвищення ефективності функціонування електричних мереж та систем.

Завданням вивчення дисципліни «Експлуатація електричних систем» є глибоке оволодіння теорією, нормативною базою та технологію застосування новітніх методів надійної та безпечної експлуатації обладнання електроенергетичних систем і мереж.

Технологічне спрямування дисципліни «Експлуатація електричних систем» полягає в тому, щоб надати майбутнім спеціалістам початкове орієнтування в тому широкому колі питань, які необхідно вирішувати в процесі експлуатації обладнання електричних мереж і систем.

Практичне спрямування дисципліни «Експлуатація електричних систем» полягає у тому, щоби допомогти студентам набути практичні навички у галузі застосування новітніх технологій надійної та безпечної експлуатації електрообладнання.

Головна мета складання навчального посібника – ознайомлення майбутніх фахівців у галузі електроенергетики із сучасними технологіями обслуговування обладнання електричних мереж під робочою напругою.

Навчальний посібник містить матеріали першого та другого змістовних модулів: «Особливості експлуатації та ремонту повітряних та кабельних ліній електропередачі» та «Особливості експлуатації та ремонту обладнання підстанцій різних класів напруги».

Матеріал посібника поділено на п'ять змістовних розділів, кожен з яких складається з декількох підрозділів. У першому розділі посібника наведено узагальнену інформацію про світовий та вітчизняний досвід із запровадження технологій обслуговування електричних мереж під робочою напругою. Другий розділ навчального посібника присвячений аналізу умов виконання робіт під робочою напругою та дотримання правил безпеки. У третьому розділі розглянуто технології виконання робіт під робочою напругою в електричних мережах 0,4 – 35 кВ, а у четвертому – напругою 110 – 750 кВ. П'ятий розділ навчального посібника знайомить з основами побудови та впровадження роботизованих комплексів з обслуговування електричних мереж під робочою напругою. Наприкінці кожного підрозділу посібника наведено питання для самоконтролю.

Автор висловлює щирі подяку рецензентам д-ру техн. наук Ю.П. Тугаю і д-ру техн. наук М.Ф. Сопелю, а також колективу кафедри електричних мереж та систем за ретельний аналіз тексту навчального посібника, цінні зауваження та рекомендації щодо викладення матеріалу.

Окрема подяка – кандидатам технічних наук Т.Є. Удоду, Г.П. Крижову та В.Л. Таловері за надані ілюстративні і статистичні матеріали.

РОЗДІЛ 1

СВІТОВИЙ ТА ВІТЧИЗНЯНИЙ ДОСВІД З ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ПІД РОБОЧОЮ НАПРУГОЮ

Мета викладеного у розділі матеріалу:

- визначення переліку питань, які має бути вирішено під час впровадження в експлуатаційну практику технологій обслуговування обладнання електричних мереж під робочою напругою;
- дослідження досвіду провідних світових країн із запровадження робіт під робочою напругою;
- ознайомлення з особливостями міжнародної співпраці з організації навчального процесу щодо опанування технологіями виконання робіт в електричних мережах під робочою напругою.

1.1 Міжнародні конференції з організації робіт під робочою напругою

Впровадження робіт під робочою напругою (далі – робіт ПРН), тобто обслуговування діючих електроустановок високої і надвисокої напруги без виведення їх з роботи, набуло значного поширення в багатьох країнах світу.

Про велику зацікавленість до запровадження цієї технології свідчать багаточисельні міжнародні конференції з впровадження робіт ПРН: як світові – ESMO (Engineering in Safety, Maintenance and Operation), так і європейські – ICOLIM (International Conference on Live Maintenance).

Дати та місця проведення світових конференцій ESMO наведено в **табл. 1.1**, а європейських конференцій ICOLIM – в **табл. 1.2**.

Таблиця 1.1. Світові конференції з ПРН (ESMO)

Порядковий номер конференції	Рік проведення конференції	Місце проведення	
		країна	місто
1	1977	Канада	Монреаль
2	1980	США	Філадельфія
3	1983	США	Атланта
4	1987	Югославія	Дубровник
5	1990	Канада	Торонто
6	1993	США	Лас Вегас
7	1995	США	Колумбус
8	1998	США	Орlando
9	2000	Канада	Монреаль
11	2006	США	Альбукерк
12	2011	США	Провиденс

Таблиця 1.2. Європейські конференції з ПРН (ICOLIM)

Порядковий номер конференції	Рік проведення конференції	Місце проведення	
		країна	місто
1	1992	Угорщина	Кестхей
2	1994	Франція	Мюлхуз
3	1996	Італія	Венеція
4	1998	Португалія	Лісабон
5	2000	Іспанія	Мадрид
6	2002	Німеччина	Берлін
7	2004	Румунія	Бухарест
8	2006	Чехія	Прага
9	2008	Польща	Турін
10	2011	Хорватія	Загреб
11	2014	Угорщина	Будапешт

На конференціях розглядалося широке коло питань, серед яких:

- розвиток методів організації робіт ПРН у різних країнах, в окремих енергосистемах і підприємствах;
- забезпечення комфорту і безпеки робіт ПРН;
- застосовувані методи і засоби проведення робіт ПРН;
- ефективність методів ПРН порівняно з традиційними методами виконання робіт;
- розроблення сучасних методів і засобів для проведення робіт ПРН;
- вивчення впливу і розроблення засобів захисту персоналу від впливу електромагнітних полів під час проведення робіт ПРН;
- закони, інструкції та правила, що регламентують проведення робіт ПРН.

Нижче наведено короткі відомості щодо започаткування робіт з обслуговування електричних мереж під робочою напругою у деяких країнах.

1.2 Проведення робіт ПРН у США

Інструменти і технології. Обслуговування електроустановок без виведення їх з роботи (під робочою напругою) почалися з моменту використання ізоляційних штанг для відключення знеструмлених роз'єднувачів. Вважається, що проведення простих операцій за допомогою ізолюючих штанг у США орієнтовно почалося у 1906 р. [14]. Проведення цих операцій показало, що використання довгої сухої штанги забезпечує задовільну безпеку робіт. Разом з тим можливість застосування таких інструментів для інших цілей зацікавила експлуатацію лише багато років потому.

Попередники сучасних інструментів для робіт ПРН з'явилися в США в 1913 році. Ці інструменти були грубими й важкими, але разом з тим вони дали поштовх розвитку сучасних високоефективних інструментів. У 1916 р. з'явився так званий «електричний гак» (пружинні скоби) для підтримки невідключених проводів. Для роботи з ним знадобилось застосування ізоляційної штанги, що навело на думку використання набору пристосувань для робіт ПРН. У 1918 р. в штаті Іллінойс почалося виготовлення універсальних інструментів для ПРН у вигляді ізоляційних штанг зі знімними окінцевачами. У 1937 р. у США як домінуючий був прийнятий такий принцип. Роль електрики в побуті і на виробництві зростає, потрібна безперебійна подача електроенергії, а, отже, виникають труднощі з відключенням для виконання ремонтів. До того ж резервування мереж економічно не вигідно, тому єдино прийнятний вихід – забезпечення обслуговування мереж без відключення.

На початку роботи ПРН виконувалися в мережі напругою 34 кВ. У міру того, як робітники з обслуговування повітряних ліній електропередачі переконувалися в забезпеченні безпеки робіт, що проводилися із застосуванням метода ПРН, такі роботи почали виконувати і на лініях більш високих напруг. До 1930 р. роботи виконували на лініях напругою 66 кВ, згодом – 110 і 220 кВ.

У 1948 р. було виконано роботи із заміни підвісної гірлянди ізоляторів на ПЛ 287 кВ, а в 1954 р. – на ПЛ 345 кВ.

Через те, що вага є одним з найважливіших факторів для інструментів робіт ПРН, постійна увага приділялася тому, щоб зробити їх більш легкими і надійними. Під час виготовлення голівок штанг для робіт ПРН почали застосовувати загартовані алюмінієві сплави, особливо приділяючи увагу зручності поводження з інструментом та спрощенню операцій. До середини 50-х років для робіт ПРН були пристосовані склопластикові штанги, почалося їх масове використання. З переходом до високих напруг збільшилися довжина і вага штанг. Тому почався пошук легких діелектричних матеріалів. Для обслуговування лінії електропередачі 345 кВ «Індіана – Мічиган» було розроблено та виготовлено дерев'яні штанги з пластмасовим покриттям, а в 1960 році нові легкі склопластикові інструменти для робіт ПРН були використані на електропередачі напругою 460 кВ. У цей же час склопластикові інструменти стали широко використовуватися на лініях напругою до 345 кВ, і в 1964 році вони застосовувались на усіх ПЛ надвисокої напруги у Сполучених Штатах і Канаді замість дерев'яних штанг. Слід зазначити, що сьогодні у США електроустановки проектується з урахуванням забезпечення можливості їхнього обслуговування під робочою напругою.

Щодо мережі напругою 5 кВ, то для неї передбачалася технологія ремонтів із застосуванням ізолювальних рукавичок у сполученні з екранами і перегородками, що відокремлювали місце виконання робіт від інших фаз, які перебували під напругою.

У мережах високої і надвисокої напруги технологія робіт під напругою, що застосовувалася в США, понад 50 років ґрунтувалася на використанні ізолювальних штанг. При цьому використовувалися штанги-маніпулятори, оснащені на кінцях змінним спеціальним інструментом для видалення в'язки, шплінтів, розкручування гайок болтів і т. ін. Цей метод набув значного поширення й в інших країнах.

Лише з початку 60-х років у США почали застосовувати так званий метод «голих рук», тобто робота за схемою «провід – людина – ізоляція – земля».

Методи робіт з ізоляцією людини від заземлених частин з перших років їх освоєння в енергокомпаніях США стали витіснити технологію з використанням ізолювальних штанг. Низка експериментальних досліджень у 1967 р. показала, що роботи з безпосереднім торканням до проводу можуть виконуватися на лініях 765 кВ. Але при цьому необхідно використовувати екрануючий костюм, який захищає електромонтерів від дії електричного поля.

Одночасно удосконалювалися методи «доставки» електромонтера до місця ремонту. Для наближення монтера до струмопровідних частин на лініях вищих класів напруги застосовувалися гідропідйомники з ізолювальною ланкою; сходи, що качаються; ізолювальні канати з підвішеним до них кріслом-коліскою через блоки, які закріплюються на траверсі опори або блискавкозахисному тросі.

Застосування підйомників з ізолювальними вставками в стрілу підйому й ізоляційними кошиками, а також гнучких ізолювальних накладок на проводи, ізолятори і конструктивні елементи ліній електропередачі напругою до 36 кВ (а надалі – і ПЛ більш високих класів напруги) дозволило значно спростити й здешевити роботи під напругою в мережах середньої напруги, застосувавши так званий метод «гумових рукавиць».

Загальний вигляд обслуговування ПЛ за методом «гумових рукавиць» співробітниками фірми Chance (США) наведено на **рис. 1.1**.



Рис. 1.1. Обслуговування ПЛ за методом «гумових рукавиць»

У США з 109 комунальних підприємств електричних мереж 107 застосовують метод «гумових рукавиць». Використання гумових рукавиць – давно відомий у США метод робіт ПРН. Нині ремонти без виведення ліній з роботи виконуються на ПЛ усіх класів напруги. В основному на лініях високої напруги (30 кВ і вище) під напругою виконується заміна ізоляторів, арматури, гасників вібрації, ремонт троса, усунення дефектів проводів та ін. На лініях середньої (від 1 до 50 кВ) і низької (нижче 1 кВ) напруги виконуються заміна ізоляторів, кріплень проводів, роз'єднувачів, монтаж відгалужень та ін.

Приклад проведення робіт ПРН в розподільних електричних мережах наведено на **рис. 1.2.**



Рис. 1.2. Приклад проведення робіт ПРН
в розподільних електричних мережах

Широке використання різноманітних методів робіт зумовлено випуском технічних засобів. Гідропідійомники з ізолювальними ланками випускають численні фірми, у тому числі Pitman, Calvar і Reach AII, що в 1985 р виготовили гідропідійомник з робочою висотою 50 м для ремонтів під напругою ліній до 800 кВ.

1.3 Проведення робіт ПРН у Канаді

Проблема впровадження робіт під робочою напругою у Канаді виникла наприкінці 20-х років минулого століття у зв'язку з необхідністю заміни ізоляторів на ПЛ 110 кВ [10]. Значне поширення в середині 30-х років одержали методи і пристосування, що застосовувалися в США, тобто роботи з використанням ізолювальних штанг та спеціального інструменту. Значні обсяги ремонтів на лініях під напругою виконувалися в мережах 8 – 44 кВ; заміна ізоляторів – на ПЛ напругою 115 і 230 кВ (з 1950 р.); фарбування верхньої частини опор з попереднім відведенням проводів від опори – на ПЛ 115 кВ за допомогою ізолювальних штанг; заміна арматури – на ПЛ 230 і 330 – 460 кВ. При цьому канадськими фахівцями було виконано низку розробок нових інструментів. З 1959 р. проводилися дослідження, пов'язані з роботою монтерів в електромагнітному полі ПЛ надвисокої напруги. На початку 60-х років почалося впровадження технологій робіт ПРН із безпосереднім торканням проводу.

З 70-х років ключову роль у впровадженні робіт ПРН відігравала компанія Ontario Hidro. Використовувалися три категорії робіт ПРН:

- метод «гумових рукавиць» (мережі до 27,6 кВ);
- штанговий метод (мережі високої напруги);
- метод «голих рук», тобто робота на потенціалі струмопровідних частин (мережі надвисокої напруги).

У разі виконання робіт ПРН методом «голих рук» на ПЛ 230 і 500 кВ використовувався канатний спосіб доставки електромонтера до місця робіт на потенціалі струмопровідних частин. До роботи допускався персонал, який пройшов чотирирічну підготовку і мав не менш як дворічний досвід роботи. Рішення про проведення робіт ПРН приймалося за спеціальним алгоритмом, що враховував наявність розробленої технології виконання робіт та відповідно навченого персоналу, а також вартість робіт та відповідність погодних умов.

З початку 50-х років також слід зазначити значну роль у впровадженні робіт ПРН і компанії Hydro-Québec. Перші роботи було проведено на ПЛ напругою 345 кВ із використанням дерев'яних штанг. Після введення в експлуатацію ПЛ 750 кВ (1965 рік) почалося освоєння методу робіт ПРН на потенціалі, а також закорочування частини підвісних і натяжних гірлянд ізоляторів з установкою захисних розрядних проміжків на суміжних опорах.

На ПЛ 765 кВ під напругою виконувався практично весь необхідний комплекс ремонтних робіт, разом із заміною ізоляції і арматури, а також роботи на натяжних гірляндах та блискавкозахисному тросі.

У навчальному центрі Ontario Hidro проводилось навчання бригад із багатьох країн, зокрема Бразилії, Ямайки, Нігерії, Пакистану, Японії, Єгипту, Таїланду, Гани, США, Англії, Угорщині й Австралії.

1.4. Проведення робіт ПРН у Франції

Впровадження робіт ПРН почалося з вересня 1960 року, коли в компанії Électricité de France (EDF) було утворено технічний комітет з вивчення методик проведення робіт ПРН [14]. У 1962 році при технічному комітеті було створено відділ із вивчення, випробування і впровадження робіт ПРН. Було створено перші експериментальні бригади для робіт на потенціалі ПЛ середньої і високої напруги. З 1965 р. перша бригада працювала на ПЛ високої напруги із застосуванням ізолювальних штанг. На ПЛ високої напруги (до 380 кВ включно) виконувалась заміна гірлянд ізоляторів, арматури, гасників вібрації й т. ін.), причому до 80 % обсягу робіт виконувалось під напругою із застосуванням ізолювальних штанг і методом роботи на потенціалі. У мережах середньої напруги без відключення виконувалось до 70 % робіт на ПЛ: приєднання нових ліній, заміна ізоляторів і арматури, заміна розташованих на опорах секціонувальних пунктів. Основний метод робіт в електроустановках до 1 кВ – з використанням діелектричних рукавичок і ізолювальних екранів.

У кожному експлуатаційному підприємстві одна або декілька бригад виконували роботи під напругою. На той час до робіт у мережах середньої напруги було допущено приблизно 1000 чол.

У кожному територіальному управлінні з експлуатації електричних мереж Франції створювалась одна бригада для робіт під напругою, яка володіла методами робіт зі штангами і безпосереднім торканням до проводу.

Впровадження робіт під напругою у Франції очолював Технічний комітет з досліджень робіт під напругою, на який було покладено розгляд і приймання устаткування і технічних засобів для робіт під напругою, технологій виконання робіт, норм щодо проведення робіт під напругою, проектів спеціальних лабораторій з випробування технічних засобів, програм навчання персоналу тощо. У рамках Технічного комітету було створено відділ дослідження і проведення робіт під напругою. Відділ мав у своєму складі такі відділення: дослідницьких робіт, експериментальних робіт і навчання персоналу, промислове відділення, а також відділення допоміжних робіт.

Відділення дослідницьких робіт проводило вивчення, виготовлення і макетування нових експериментальних зразків технічних засобів, вивчення нових матеріалів для застосування під час робіт під напругою, внесення змін в існуючі пристосування й інструмент; виконував механічні й електричні випробування (дослідницькі, типові і приймальні); проводив дослідження, уточнення умов праці і вносив необхідні зміни в методи провадження робіт і технічні засоби. Відділення мало у своєму розпорядженні установки для електричних випробувань, обладнані дощовими пристроями, камерою штучного старіння матеріалів, лабораторією механічних випробувань (на розтягування і стиснення, у тому числі циклічними навантаженнями, на крутіння, на вигин стріл гідропідйомників), а також двома майстернями з виготовлення макетів і елементів устаткування для робіт під напругою.

Відділення експериментальних робіт і навчання виконувало експериментальні роботи щодо створення нових технологій робіт, нових і удосконалених інструментів і пристосувань, розробляло інструкції з дотримання належних умов праці, технологічні карти, навчало експериментальні групи і майбутніх викладачів новим методам робіт під напругою. Відділення мало у своєму розпорядженні усі види технічних засобів для роботи під напругою, у тому числі гідропідйомники з ізолювальною стрілою, а також спеціальні автомашини.

Промислове відділення містило групи з виготовлення інструментів та пристосувань для ремонтних робіт, приймання і контролю, здійснювало промислове впровадження нових і удосконалених матеріалів, контроль і приймальні випробування устаткування, ремонт технічних засобів і навчання персоналу, що займається на місцях оглядом і ремонтом таких засобів, контактує з енергопідприємствами щодо їх укомплектування технічними засобами та їх ремонтом. Відділення мало у своєму розпорядженні лабораторії для проведення приймальних механічних і електричних випробувань, майстерні для ремонту засобів робіт ПРН.

Навчання персоналу енергопідприємств роботам ПРН здійснювалося в двох спеціалізованих центрах: в одному – з робіт на середній і високій напрузі, в іншому – тільки на середній напрузі. Навчання електромонтерів роботам в електроустановках напругою до 1 кВ проводилося на першому періоді впровадження в п'ятьох територіальних енергоуправліннях і двох центрах підготовки.

Значне поширення під час обслуговування і спорудження ПЛ у Франції отримали гвинтокрили. Так, з 1987 року в компанії Électricité de France застосовувалося до 10 гвинтокрилів. Щорічно їх використання становило майже 7000 годин.

За допомогою гвинтокрилів виконувалися такі види робіт: огляд ПЛ; транспортування людей і вантажів; розкочування проводів, у тому числі і під механічним тяжінням; обмивка ізоляції; ремонтні роботи як на відключених ПЛ, так і під напругою.

За заявою французьких фахівців, до 80 % робіт із використанням гвинтокрилів може виконуватись без зняття напруги з ПЛ. При цьому час робіт знижується у 5 – 12 разів порівняно з часом виконання робіт традиційними методами. Під час виконання робіт ПРН гвинтокрили використовувалися як для доставки електромонтерів на місце безпосередньої роботи, так і для підтримки у висячому положенні робочої площадки під час виконання робіт (при цьому застосовувалися важкі двомоторні гвинтокрили).

Французькі фахівці вважали, що розвиток ПРН стримують три основні причини:

- *Психологічна.* Існувала, та й зараз існує у свідомості персоналу помилкова концепція того, що обслуговування діючого електроустаткування має виконуватись тільки у відключеному (знеструмленому) стані.
- *Технічна,* безпосередньо пов'язана з першою причиною. Відсутність досвіду широкого застосування і необхідної кількості якісних методів і пристосувань ПРН.
- *Організаційна.* Спочатку всі операції ПРН здійснювалися у суворо індивідуальній послідовності відповідно до технологічних карт виконання робіт, що ускладнювало ПРН у разі будь-яких навіть незначних змін робочих умов.

На даний час у Франції правила виконання робіт містять лише 2 розділи: робочі умови й інструкції з використання інструментів і пристосувань.

Робочі умови визначають правила, що стосуються:

- організації робіт (підготовка робочого місця, заходів для обмеження перенапруги і струмів короткого замикання і т. ін.);

- перевірки й обслуговування інструментів і пристосувань;
- забезпечення безпечних відстаней між елементами устаткування і персоналом, що мають відмінний електричний потенціал;
- умов переносу потенціалу і замикання-розмикання шунтуючих ланцюгів.

В інструкціях з використання кожного виду інструментів і пристосувань наведені такі відомості: принцип дії; електричні і механічні характеристики; умови експлуатації; правила виконання за їх допомогою робіт (якщо потрібно).

У Франції 40 % персоналу, що обслуговують підстанції, навчено методам роботи ПРН у розподільних пристроях. Кожна друга бригада ремонтників здатна виконувати роботи на потенціалі струмопровідних частин. В *Électricité de France* вважають, що роботи ПРН має якнайширше впроваджуватися в практику обслуговування електроустановок і з часом перетворюватися в основний вид такого обслуговування. Ведуться інтенсивні роботи з удосконалення методів видалення забруднень з поверхні ізоляції як за допомогою традиційних методів, так і засобами ПРН. Традиційно забруднення видалялись за допомогою початків кукурудзи або за допомогою часток сухого льоду. Іntenсивно випробовуються методи очищення за допомогою обмивки. На підстанціях напругою до 110 кВ роботи, як правило, ведуться штанговим методом, а на підстанціях більш високої напруги – на потенціалі.

Використовуються чотири головні різновиди робіт на підстанціях:

- огороження ізоляційними екранами частин, які знаходяться під напругою (обслуговування секційних роз'єднувачів, встановлення непровідної сітки, що дозволяє виконувати роботи під струмопровідними частинами під напругою);
- огляд, виміри, невеликі роботи з використанням ізолюючих штанг (огляд за допомогою дзеркал, підтяжка болтів, вимір габаритів і т. ін.). Ці роботи, хоча і не виглядають ефектно, виявляються дуже корисними;

- тимчасове підключення устаткування (кабелі, вимикачі і навіть цілі секції), що дозволяють на час ремонтних робіт не переривати енергопостачання;

- обслуговування устаткування високої і надвисокої напруги, яке виконують шляхом заміни або частин устаткування, або цілком. Апаратуру (вимикач чи роз'єднувач) шунтують, перевіряють ефективність шунтування, після чого замінюють основні частини чи цілком фазу устаткування. Для виконання цих робіт застосовують ізолюючі штанги з усілякими робочими органами, підйомники (змонтовані на гусеничному ході) з ізолюючими опорними колонками для доставки людини до місця робіт і навіть цілі комплекси пристосувань, наприклад, для пересування тимчасовими шляхами перекочування фази вимикача 400 кВ. Існують методи проведення робіт ПРН у контакті, на відстані і на потенціалі.

Під час міжнародної конференції з організації робіт ПРН, що відбувалася в далекому 1992 р. у м. Кестхей (Угорщина), французькі фахівці демонстрували роботу із заміни опорно-стрижневого ізолятора 20 кВ у такій послідовності:

- 1 – підйом монтера в кошику вишки з ізолюючою вставкою;
- 2 – монтаж ізолюючого захисного покриття;
- 3 – підтримка проводу за допомогою ізолюючою силової стріли;
- 4 – демонтаж кріплення;
- 5 – підйом проводу на безпечну відстань;
- 6 – заміна ізолятора;
- 7 – опускання проводу і його кріплення.

Така технологія виконання робіт ПРН лише незначно відрізняється від технології виконання робіт зі зняттям напруги і дозволяє значно легше і швидше усувати ушкодження в мережі середньої напруги.

1.5. Проведення робіт ПРН у Китаї

Техніка для проведення робіт під напругою в країні виникла в середині 50-х років XX століття, коли в Управлінні енергетикою Аньшаня почали створювати пристосування для монтажу і демонтажу високовольтних проводів й інші інструменти для робіт ПРН [10]. У 1955-56 роках було виготовлено ізоляційні пристосування для ліній електропередачі напругою 3,3 кВ.

У 1956 р. за підтримки Північно-Східного Управління електроенергетики було прийняте рішення про інтенсифікацію дослідницьких робіт з ПРН, а також створена дослідницька група з проведення робіт ПРН на ЛЕП напругою 154 – 229 кВ. Разом з тим на Управління електроенергетики Аньшаня були покладені обов'язки щодо проведення досліджень з виконання робіт ПРН на відповідальних ПЛ напругою 3,3 – 66 кВ і виготовлення необхідних для цього пристосувань. У 1958 р. після завершення попередніх досліджень обидві дослідницькі групи увійшли в центральний експериментальний інститут (попередник Північного-Східного електроенергетичного експериментального дослідницького інституту) і продовжили дослідження з проведення робіт ПРН і виробництва інструментів. Було виготовлено комплекти інструментів на напругу 154 і на 220 кВ. У 1958 р. дослідницькі групи, що займалися проблемами ПРН на ПЛ надвисокої напруги в Північно-Східному Управлінні електроенергетики, вперше в КНР успішно виконали роботи з ремонту підтримуючих підвісок на ПЛ 220 кВ, що відкрило шлях для нових способів проведення робіт і привело до більш швидкого розвитку робіт ПРН у КНР.

У липні-листопаді 1958 року Північно-Східне Управління електроенергетики організувало групу з підготовки кадрів для проведення робіт ПРН на ПЛ напругою 154 – 220 кВ та розширило групу підготовки кадрів, що здійснювали ПРН на лініях напругою 3,3 – 66 кВ. Були розроблені більше 30 різноманітних технологій робіт ПРН для ПЛ різної напруги.

У 1964 році в Тяньцзіні була організована Всекитайська виставка з огляду і ремонту високовольтних ПЛ під напругою, а в 1966 і 1973 рр. був організований обмін досвідом проведення робіт ПРН. Таким чином, було покладено початок повсюдному розгортанню робіт ПРН по всій країні на ПЛ напругою до 220 кВ. На кінець 1986 р. по всій країні було створено 314 груп із підготовки кадрів для ПРН, але кількість дослідників відносно всієї кількості людей, зайнятих на проведенні робіт ПРН, становило 1 %, що вкрай мало.

Щодо ПЛ напругою 220 кВ, то всі роботи, пов'язані із заміною ізоляції, проводів і траверс, можуть виконуватися без припинення енергопостачання. Технологічні способи з окремих видів робіт, ступінь простоти і зручності використання інструментів у деяких випадках перевершує світовий рівень.

За проміжок 1983 по 1986 рік по всій країні було виконано в цілому понад 142 тисячі видів робіт під напругою. В середньому за рік виконувалося понад 35 тисяч робіт. Кількість робочих годин становило майже 210 тис. годин, тривалість припинення подачі електроенергії знизилася на 250 тис. годин. Було усунуто понад 5 тис. великих ушкоджень, у середньому по 1,3 тис. ушкоджень на рік.

На початку 80-х років у Центральному Китаї, на Північному сході, на Сході, а також на Півночі КНР з'явилися лінії електропередачі напругою 500 кВ. В основних районах був покладений початок розвитку досліджень оперативних методів провадження робіт під напругою і виготовленню інструментів для ПЛ 500 кВ.

Дуже ефективним виявилось використання візків із приводом типу «велосипед» для огляду і заміни розпірок, а також для виявлення ушкоджених ізоляторів. Почалися дослідження методів огляду і ремонту без зняття напруги на лініях постійного струму напругою 500 кВ, виготовлено дослідні зразки інструментів.

Інструменти для робіт ПРН на початковому етапі робіт виготовлялися з деревини і були громіздкими. У 1960 році з'явилися вироби з фенол-альдегідної смоли, а потім з поліетилену зі скловолокном, на основі яких почали розроблятися більш легкі і зручні інструменти. Зокрема, слід зазначити використання сплавів алюмінію замість сталі, уведене для виробництва затискних пристосувань на початку 70-х років у північно-західних районах КНР.

В подальшому було створено декілька підприємств, що виготовляють ізоляційні деталі пристосувань для проведення робіт під напругою. Більшість з них використовують затискні пристосування зі сплавів алюмінію і металеві деталі, вироблені на механічному заводі в Цюньфэн, і склопластикові ізоляційні вироби, вироблені на заводі електротехнічних інструментів у Цзяоцзян, що відрізняються відносно високою якістю. Ці заводи вносять визначний внесок у вдосконалення проведення робіт під напругою.

Щодо робіт із захисту технічного персоналу, який здійснює роботи ПРН. У початковий період для досягнення ефекту екранування у робочому одязі використовувалися тонкі мідні сітки. Потім перейшли до використання в екрануючому одязі в'язаних тонких сіток, покритим сріблом. У 70-х роках був виготовлений екрануючий одяг з тонких мідних проводів діаметром 0,03 мм і крученої пряжі дубового шовкопряда, що давало порівняно гарний ефект екранування, але тривале використання показало, що могла змінюватися корозійна стійкість мідної сітки, також відбувалися обриви тканини. У 1982 році на цьому заводі перейшли на виготовлення екрануючого одягу з електропровідної тканини, витканої з манганінового дроту діаметром 0,03 мм і пряжі дубового шовкопряда, що стала використовуватися по всій країні.

У 1985-86 роках досягли надзвичайно високого ефекту екранування, що доходив до рівня передових країн.

Отже, історія розвитку робіт під напругою в КНР нараховує понад 50 років. За цей період було зроблено величезний внесок у справу забезпечення безперебійного електропостачання, отримано великий економічний ефект. Проте країна все ще далека від задоволення потреб у розвитку робіт ПРН.

1. Відсутня єдина програма розвитку робіт під напругою:

- роботи під напругою в КНР почали розвиватися стихійно. За винятком спеціального інженерного керування лініями в мережах провінцій не існувало спеціальних адміністративних органів, не було спеціальних дослідницьких підрозділів; під час виконання глибоких теоретичних досліджень та пошуку технологій виробництва пристосувань особливо відчувалася відсутність єдиних управлінських структур, що забезпечило б координацію робіт з впровадження ПРН у всіх провінціях;

- на деяких об'єктах роботи ПРН не проводилися, керівники чималої кількості основних об'єктів побоювалися розгортати ці роботи через можливість аварії, не розглядали їх як свого роду засіб огляду і ремонту, чим гальмувався розвиток застосування робіт ПРН;

- відсутні обґрунтовані вимоги до виготовлення пристосувань і інструментів для робіт під напругою;

- велика частина пристосувань і інструментів, використовуваних під час робіт ПРН у Китаї, були виробами власного виробництва поодиноких виготовлювачів, для них характерні громіздкість, брутальність обробки, непривабливість зовнішнього вигляду, низький рівень якості;

- ще більш серйозною обставиною є те, що на всіх об'єктах виконувалось занадто багато додаткової роботи, як наприклад, закупівля матеріалів, механічна обробка, монтажні й інші види робіт. При цьому було неможливо запустити у виробництво єдині для всієї країни моделі інструментів і пристосувань для робіт під напругою, ввести єдині стандарти.

2. Проблеми створення якісних ізоляційних матеріалів:

- досконалість інструментів для електротехнічних робіт, крім рівня проектування, залежить також ще і від якості ізоляційних матеріалів для основних деталей. Використовувані на той час у КНР порожні трубки з епоксидного скла, пластини і профільні матеріали порівняно з використовуваними в передових країнах епоксидними трубками з наповнювачем за своїми електричними і механічними властивостями тільки лише для деяких заводів наближалися до стандартів Міжнародної електротехнічної комісії;

- вироби більшості заводів за електричними і механічними показниками були далекими від ідеальних. Відомо, що від якості ізоляційних матеріалів залежить і якість інструментів для виконання робіт під напругою. Наприклад, використовувані під час робіт під напругою ізолювальні нейлонові канати через легке поглинання атмосферної вологи у разі дощу або високої вологості знижували їх електричні показники, що могло призвести до серйозних аварій. Крім того, нейлонові ізолювальні канати мають значну розтяжність під дією сили, що впливає на безпеку робіт.

3. Проблеми дотримання правил безпеки:

- за неповними статистичними даними за 1983-86 роки у КНР відбулося 32 інциденти під час виконання робіт під напругою, у яких загинули двоє людей, четверо одержали важкі каліцтва, 14 чоловік одержали легкі ушкодження, у 12 випадках переривалася подача електроенергії;

- аналіз причин аварій показує, що в 28 випадках (87,5 % від загального числа досліджених за той період) аварії відбулися через порушення чинних правил безпеки. Подальшим вивченням причин встановлено, що, з одного боку, вони відбувалися через професійну невідповідність електротехнічного персоналу, а з іншого боку, через низький рівень технічного керівництва роботами під напругою.

1.6. Проведення робіт ПРН у Польщі, Угорщині, Чехії і Словаччині

Враховуючи закордонний досвід і специфіку електроенергетичних мереж у зв'язку з обмеженими можливостями планового відключення мереж, Союз Енергетиків Польщі доручив у 1973 році Інституту енергетики провести дослідження для започаткування робіт на електроустановках під напругою [10].

Впровадження технології робіт під напругою потребувало:

- розроблення і затвердження відповідних юридичних документів;
- одержання відповідних пристосувань і інструментів;
- навчання працівників у спеціальному центрі та їхньої перевірки на право проведення робіт під напругою.

Із загальної кількості технологій виконання робіт ПРН найчастіше використовувались:

- підключення кабельного з'єднання;
- демонтаж кабельного з'єднання;
- заміна ізоляторів;
- заміна несучих опор.

Розроблена і введена в експлуатаційну практику технологія очищення закритих розподільних пристроїв напругою до 30 кВ.

Існуючі проблеми і протиріччя під час впровадження робіт ПРН:

- не було створено організаційну структуру, яка б опікувалася питаннями впровадження робіт ПРН і відповідала за це;
- не виконано економічні розрахунки, що показують фінансову доцільність використання робіт ПРН;
- не було створено спеціально оснащених автомобілів;
- не було виробничої бази для виготовлення оснащення та ін.

У Чехословаччині (згодом утворених на її основі держав Чехії і Словаччини) у 1950-60 роках дослідженням і розвитком робіт під напругою займався Дослідницький інститут Енергетики в м. Брно.

Істотні складнощі під час впровадження робіт ПРН виникали, з одного боку, через недовіру до них і небажання здійснювати їх, а з іншого боку – через відсутність відповідних захисних і робочих інструментів. Роботи ПРН на пристроях високої напруги проводилися з використанням методу «на віддаленні». Це здебільшого перевірка функціонування вимикачів, калібрування дуттьових отворів, змашення частин, що рухаються, добір зразків олії з трансформаторів, доливання олії.

Роботи на пристроях надвисокої напруги можна розділити на дві основні групи:

- роботи методом «на віддаленні»: монтаж гасників вібрації, вимір тарілчастих порцелянових ізоляторів, обмивання зовнішньої ізоляції устаткування 110 – 220 кВ під напругою спеціально підготовленою водою;
- роботи методом «на потенціалі», що використовуються на пристроях 220 кВ і вище. Для захисту людини від електричного поля використовується спеціальний костюм.

В Угорщині методи робіт під напругою було впроваджено ще в 50-і роки, проте тільки на низькій напрузі. Виконання робіт на високій напрузі було заборонено. У 1980 році було розроблено технологію, а працівники були забезпечені необхідним устаткуванням і оснащенням, після чого було здійснено перші роботи під робочою напругою.

1.7. Приклади міжнародної співпраці

Як приклад досвіду організації міжнародної співпраці в напрямку проведення робіт на електроенергетичних об'єктах без їх виведення з робочого стану (під напругою та без обмеження електропостачання) розглянемо співпрацю фірм Ontario Hydro (Канада) і DEDAC (Угорщина) [14].

Зв'язок канадської фірми Ontario Hydro з Угорщиною почався ще в 1987 році, коли ця фірма організувала свій офіс у Будапешті. Завдяки цьому виникла низка проектів з угорськими підприємствами і державними органами. Один з них – передача «рукавичної» технології проведення робіт ПРН фірмі DEDAC (Південному Дунайському електричному підприємству).

Раніше фірма DEDAC виконувала роботи ПРН «штанговим» методом, що був до того прийнятим у Європі і багатьох країнах світу. У 1980 р. в Угорщині DEDAC навчив виконувати різні види робіт ПРН у мережі середньої напруги штанговим методом 27 бригад. Водночас DEDAC навчав персонал сусідніх країн.

На початку 90-х років DEDAC, як і інші підприємства, зрозумів необхідність заміни «штангового» методу робіт ПРН на більш ефективний, який би забезпечував більшу гнучкість і мінімум відключень споживачів. Було визначено, що «рукавичний» метод є найкращим, і тому DEDAC вибрав Ontario Hydro як компанію-постачальника, що буде здійснювати навчання з цієї технології. «Рукавичний» метод застосовується для електрообладнання різних конструкцій, а також забезпечує велику маневреність робітників під час виконання робіт. Це полегшує роботу, зменшує спеціальні вимоги під час застосування технології.

Працювати під напругою фірма DEDAC уже вміла, а за допомогою Ontario Hydro «рукавичний» метод було об'єднаний зі «штанговим». DEDAC обрав Ontario Hydro як постачальника цього типу технологій, знаючи світову славу технічних і керівних фахівців Ontario Hydro, що на той час мали 30-річний досвід організації робіт ПРН в різних країнах.

На початку 50-х років «рукавичний» метод було впроваджено як стандартне навчання для монтерів ліній електропередачі. Перше навчання в Ontario Hydro почалося в 1963 р. Ontario Hydro була піонером в освоєнні цього методу на американських підприємствах.

Із 1945 р. в Ontario Hydro було організовано навчання, і з 1965 по 1995 рік навчено понад 6000 монтерів розподільних мереж роботі ПРН з використанням усіх трьох зазначених вище методів. У центрі уваги навчання завжди був систематизований підхід, а особливу увагу приділялося безпеці нарівні із забезпеченням мінімальної вартості обслуговування мереж. За 40 років застосування рукавичного методу персонал Ontario Hydro добре опанував практичне проведення навчання роботі під напругою і пов'язаних з ним заходів (правила безпеки, технології робіт, аналіз безпеки).

«Система навчання» Ontario Hydro використовувалася в багатьох міжнародних проектах, що дало можливість оцінити успішність інших проектів Ontario Hydro і пристосувати систему до потреб DEDAC.

Головні складові кожного з етапів наведено на **рис. 1.3** (етапи 1-2) та **рис. 1.4** (етапи 3-5). Розглянемо ці етапи детальніше.

Етап 1 «Визначення потреб» дозволив попередньо з'ясувати основні компоненти, необхідні для передачі рукавичного методу і підготовки проекту. На цьому етапі відбувалося створення документів і розроблення компонентів навчання, необхідних для пристосування до потреб DEDAC. Після завершення в Канаді першого етапу було створено об'єднану бригаду персоналу Ontario Hydro і DEDAC, завершені переговори за контрактом, підготовлено і підписано контракт з Ontario Hydro. Після цього (з липня 1995 р.) почалася реальна передача технологій.

Етап 2 складався з двох головних компонентів: розгляд проекту і розроблення документації. Цей етап є одним з найважливіших. Під час розгляду було визначено всі деталі успішної передачі технології. Складова другого етапу щодо розгляду проекту містить чотири компоненти: розроблення системи навчання, вимоги документації й інструкцій, устаткування і механізми. Завданням кваліфікованого персоналу Ontario Hydro було пояснити зміст вимог до бригад DEDAC для правильного застосування і використання устаткування.

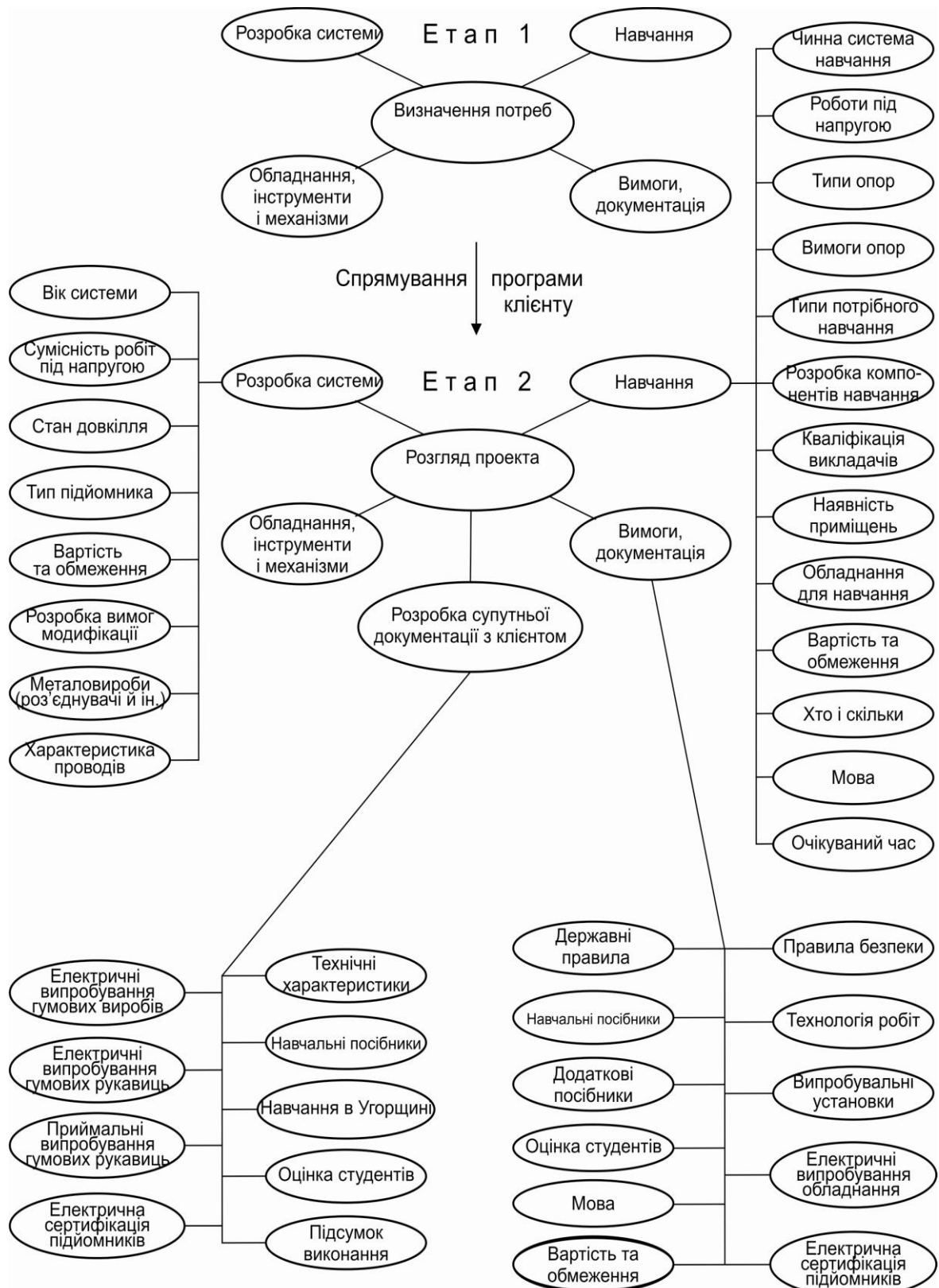


Рис. 1.3. Головні складові першого та другого етапів

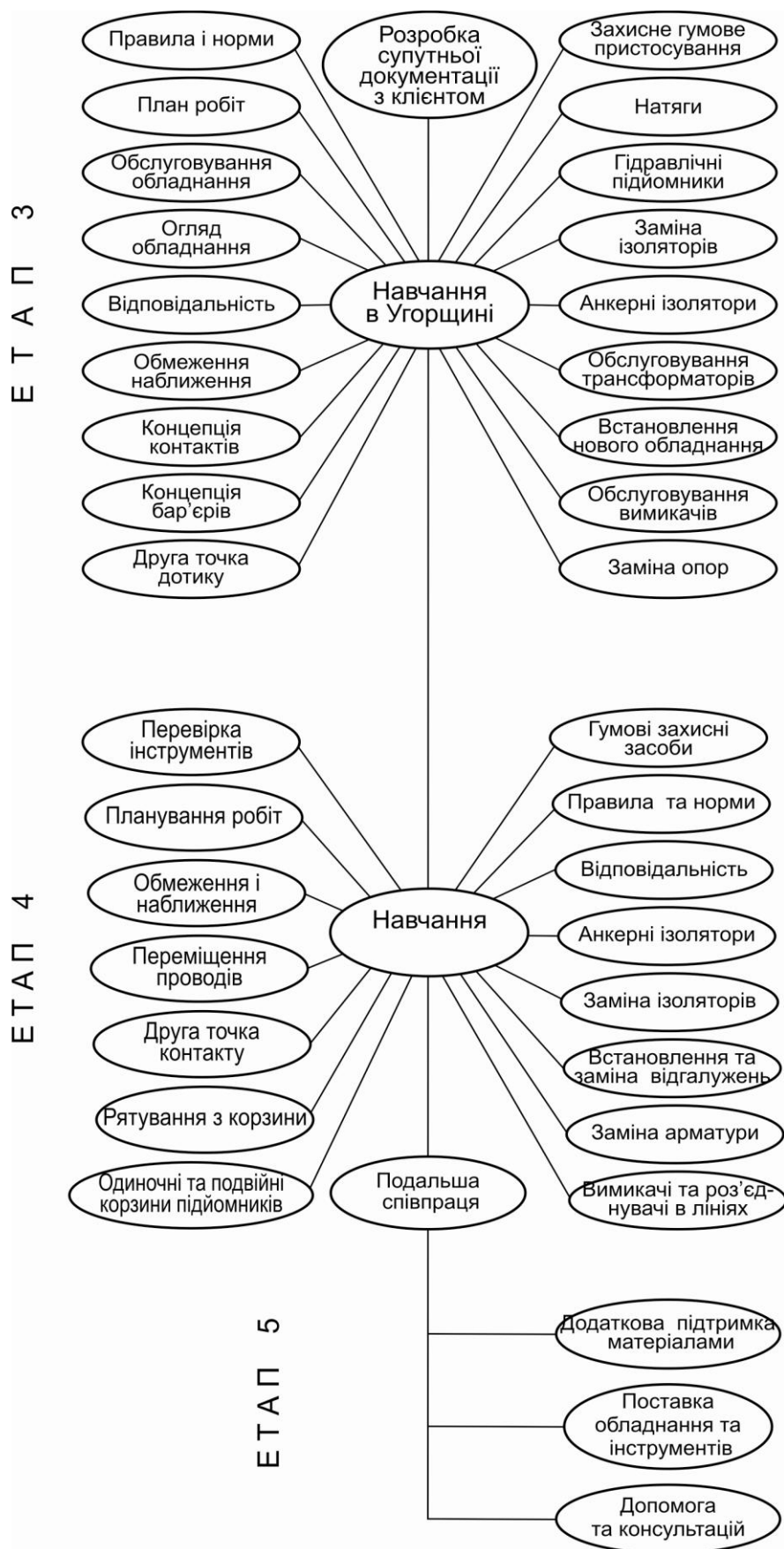


Рис. 1.4. Головні складові третього-п'ятого етапів

Етап 3. На цьому етапі почалося навчання в Угорщині, яке тривало два тижні. Виконувалися різні роботи під напругою для потреб DEDAC, проходили випробування різні робочі концепції: «Принцип бар'єра», «Друга точка контакту», «Межі наближення», – усе, що було розроблено на другому етапі, тепер застосовувалось на практиці.

Робітники DEDAC навчалися виконувати низку робіт у розподільних мережах середньої напруги, а саме:

- заміна підтримувальних гірлянд ізоляторів (одиначних та здвоєних);
- заміна анкерних гірлянд ізоляторів (одиначних та здвоєних);
- заміна подвійних анкерних ізоляторів кутових опор;
- переміщення проводів;
- перенесення траверс та/або опор;
- ремонт ділянок проводів;
- установлення і заміна роз'єднувачів і вимикачів;
- обслуговування вимикачів, трансформаторів та інше.

По закінченні теоретичної підготовки робітники DEDAC виконували роботи під напругою рукавичним методом за технологією Ontario Hydro.

Команда електромонтерів DEDAC, що проходила навчання «рукавичному» методу робіт ПРН, складалася з двох інженерів, двох фахівців та інструктора навчання. Два фахівці від Ontario Hydro забезпечували практичне навчання електромонтерів DEDAC.

Етап 4. Після завершення навчання в Угорщині група курсантів з DEDAC переїхала до Канади для завершення навчання в навчальному центрі Ontario Hydro. На цьому етапі основну увагу було зосереджена на вимогах сертифікації в Ontario Hydro рукавичної технології під час використання комбінації контактної і дистанційної методів. У процесі цього стислого однотижневого навчального періоду фахівці DEDAC стали добре навченими окремим рухів, етапів робіт і нової культури роботи.

Етап 5. По завершенні проекту DEDAC продовжував зміцнювати контакти з Ontario Hydro для надання допомоги в частині специфікації устаткування і загального керівництва в роботах під напругою рукавичним методом.

Як висновок слід зазначити, що це був успішний проект передавання технологій. Приблизно через рік після завершення проекту DEDAC навчив кілька бригад виконувати обслуговування різного устаткування у своїх розподільних мережах рукавичним методом.

1.8. Із вітчизняного досвіду організації робіт ПРН

У колишньому Радянському Союзі виконання робіт на лініях електропередачі під напругою із застосуванням ізолювальних штанг (переважно для контролю ізоляторів і з'єднувачів, а також під час оперативних переключень) почалося в 30-ті роки минулого століття [10]. Для забезпечення безперебійної роботи радіальних ліній електропередачі 35 – 110 кВ в роки Другої світової війни було розроблено і застосовано в енергосистемах методи та пристосування для заміни деталей дерев'яних опор під напругою. У 1942 р. у разі, коли відключення лінії було неможливим через перерву в подачі електроенергії важливим за своїм значенням споживачам, допускалося виконання таких робіт на лініях напругою до 110 кВ включно, що перебувають під напругою: заміна стояків, траверс, розкосів, розпірок і інших деталей дерев'яних опор, встановлення накладок на траверси і стояки, перевірка загнивання траверс по всій довжині, встановлення і зняття ізоляторів, роботи за допомогою ізолювальної штанги, встановлення і зміна трубчастих розрядників, ревізія і ремонт блискавкозахисних тросів і заземлювальних спусків на дерев'яних опорах.

Водночас велися пошуки і дослідження, пов'язані з такими ремонтними роботами, які вимагали торкання до проводів та ізоляторів, що перебувають під напругою. Проводилися роботи з визначення граничних безпечних значень струму, що протікає через людину, досліджувалися ізоляційні властивості деяких конструкційних матеріалів і розроблялися різні способи «доставки» електромонтера до проводу.

Застосування *клеєної деревини* дало поштовх до розроблення нових видів ізоляційних конструкцій. Було створено та випробувано поворотні площадки, що кріпляться до стійки опори (з розтягнутими чи стиснутими укосами), розкладні драбини і пантографічні підйомники. Проте перші екземпляри виявлялися занадто важкими, і тільки десяту конструкцію (АГ-10 «сходи в дві ланки») було визнано придатною для практичних робіт на лініях.

Перші роботи з використанням створених ізолювальних сходів було виконано в 1945 р. у Рутченковському районі електричних мереж «Донбасенерго». Великих зусиль до практичного втілення цієї розробки доклав Т.П. Мусатов (під керівництвом якого пізніше, у 1958 р., велися роботи на ПЛ 35 – 220 кВ із застосуванням першої в країні триланкової телескопічної вишки з верхньою ізолювальною ланкою).

Для розширення номенклатури робіт і зниження ваги допоміжних пристроїв багато було зроблено у Ташкентському районі електричних мереж «Узбекенерго», і зокрема директором району Л.И. Бобовичем та інженером мереж М.Л. Гальперном. Спеціальної підготовки потребувала успішно проведена в 1947 р. складна і відповідальна робота із заміни витягнутих ожеледдю проводів на діючій лінії 110 кВ довжиною 28 км у Караганді. Чималу допомогу здійснив під час цієї роботи інженер А.Н. Плеханов.

Роботи без зняття напруги (із заміною деталей дерев'яних опор) у 1953 р. проводилися в 27 енергосистемах колишнього СРСР (у 1954 р. – в 34 енергосистемах, у 1955 р. – в 40 і в 1956 р. – в 41 енергосистемі).

У 1956 р. під напругою виконувалися такі роботи, як, наприклад, заміна гірлянд і окремих ізоляторів, заміна затискачів, ремонт проводів, огляд і дрібний ремонт проводів у прольоті, огляд проводу з виїмкою з підтримуючих затискачів, установлення шунтів, установлення і зняття гасників вібрації, зняття накидів – усього за рік приблизно 12,7 тисячі різноманітних робіт.

За лініями різного класу напруги кількість робіт розподілялася таким чином: 220 кВ – 474 роботи; 154 кВ – 2; 110 кВ – 7048; 35 кВ – 5215. Зазначені роботи були найпоширенішими в енергосистемах «Донбасенерго», «Краснодаренерго», «Куйбишевенерго», «Свердловенерго», а також у Латвійській і Узбецькій енергосистемах.

У 1954 – 1956 рр. у 11 енергосистемах країни обсяг робіт на опорах, проводах і гірляндах ізоляторів під напругою становив від 60 до 85 % загального обсягу робіт на цих елементах. У середині 50-х років на двох заводах було організовано серійний випуск пристосувань для робіт під напругою.

У 1955 р. на експериментальній базі в м. Хотьково вперше торкнулися проводу під напругою 400 кВ; у 1960 р. в ОРГРЕС (інженери М.Д. Столяров, К.В. Усачов, В.П. Коробкова) було створено перший екрануючий костюм для захисту електромонтера, що торкається проводу під напругою, від впливу електричного поля; розроблено і виготовлено телескопічні вишки з верхньою ізолювальною ланкою зі склопластику, створеного у Всесоюзному електротехнічному інституті.

Було розроблено комбінований спосіб заміни під напругою ізоляторів на лініях 6 – 10 кВ із застосуванням ізолювальних штанг та ізолювальної телескопічної вишки.

Проте наприкінці 50-х років обсяг робіт під напругою в енергосистемах став скорочуватися. Причин було декілька:

- розвиток електричних мереж 35 – 220 кВ і спорудження резервних ліній;

- застосування в ізолювальних конструкціях електротехнічного деревинно-шаруватого пластику, що не забезпечив стабільності ізоляційних властивостей (пластик згодом розшаровувався);
- зниження додаткової оплати праці персоналу за виконання робіт під напругою.

Головною ж причиною було припинення випуску надійних пристосувань і пристроїв для робіт під напругою.

Високі вимоги, висунуті до надійності ліній електропередачі напругою 330 – 750 кВ, обмежені можливості їх відключення, а також економічні міркування викликали необхідність поновлення в СРСР робіт на лініях вищих класів напруги без їх відключення.

Для прискорення впровадження було використано досвід німецьких та угорських фахівців. З 1981 р. у «Мінськенерго» почалися роботи із заміни дефектних ізоляторів підтримуючих гірлянд і ремонту дистанційних розпірок на ПЛ 330 кВ за технологією та із застосуванням пристосувань і пристроїв НДР. З 1982 р. у Молдавській енергосистемі було розроблено і застосовано оригінальний метод заміни ізоляторів підтримуючих гірлянд на ПЛ 330 і 400 кВ. У 1982 р. в енергосистемах України почалися ремонти під напругою підтримуючих гірлянд і дистанційних розпірок на ПЛ 750 кВ за технологією та із застосуванням пристосувань ВНР. З цього часу почався інтенсивний розвиток робіт під напругою на ПЛ 220 – 750 кВ. З ініціативи Міненерго України розробляються нові технології робіт під напругою на лініях 220 – 750 кВ із залізобетонними і металевими опорами різного типу, у тому числі на підтримуючих і натяжних гірляндах, на фазах із двома, трьома, чотирма і п'ятьма проводами; розроблені і випускаються пристосування для виконання робіт під напругою.

Проведено дослідження і розроблення комплектів екрануючого спецодягу для захисту працюючих від впливу електричного поля.

Екрануючі комплекти випускались Дослідним підприємством із впровадження робіт під напругою в м. Вінниці, а з 1986 р. виготовлялися також підприємствами Мінлеглапрому СРСР.

У 1985 р. було здійснено спробні роботи під напругою на дослідній ділянці ПЛ 1150 кВ.

У містах Вінниця і Рівне було створено центри з робіт під напругою, де розроблено технології і випускалися пристосування для ремонту ПЛ під напругою 0,38 кВ, а також 110 кВ та вище.

У 1985 – 1987 р. у м. Вінниця пройшли навчання бригади всіх енергосистем України і 40 енергосистем інших регіонів країни роботам під напругою на ПЛ 110 – 750 кВ. З 1984 р. велась підготовка електромонтерів для ремонтів під напругою ПЛ 0,38 кВ; навчено 500 бригад енергосистем України. З 1982 р. (в основному у 1985 – 1987 рр.) замінено 87 тисяч дефектних ізоляторів на ПЛ 330 – 750 кВ та майже 30 тисяч дистанційних розпірок на ПЛ 330 – 750 кВ. На ПЛ 0,38 кВ в енергосистемах України замінено 6 тисяч ізоляторів, змонтовано 7,7 тисячі вводів у будівлі.

Розроблення і впровадження високоефективної технології ремонтів під напругою ПЛ 220 – 750 кВ відзначено премією Ради Міністрів СРСР 1988 року.

Подальший розвиток характеризувався розширенням сфери застосування ПРН і зменшення трудомісткості проведених ремонтних робіт. Так, було розроблено технологію, яка дозволила замінити під напругою один з ланцюгів ізолювальної підвіски ПЛ 330 кВ. Для ПЛ 750 кВ було вирішено складну проблему заміни в процесі робіт ПРН одноланцюгової ізолювальної підвіски на дволанцюгову. Застосування струмопровідного взуття дозволило електромонтерам пересуватися безпосередньо по гірляндах ізоляторів, що в сполученні з новою конструкцією монтерського стільця значно збільшило (приблизно в 4 рази) ефективність ремонтних робіт на натяжних гірляндах ПЛ 750 кВ.

Значного вдосконалення зазнала технологія заміни дистанційних розпірок на ПЛ 330 – 500 кВ. Новий спосіб доставки людини на потенціал проводу відчутно спростив цей вид робіт під напругою.

Однією з наступних розробок було застосування технологій робіт ПРН на ПЛ напругою 330 кВ із використанням захисного ізолювального проміжку, що дозволило виконувати ремонт ізолювальних підвісок з 50 % дефектними ізоляторами.

Надалі сфера ПРН поширилася на відкриті розподільні пристрої (ВРП). У класі напруги 330 кВ була успішно адаптована до умов розподільних пристроїв технологія заміни натяжних гірлянд. Впровадження в практику опорної ізолювальної конструкції, виготовленої зі склопластику, надало можливість у ВРП 110 кВ проводити ревізії і деякі види ремонтних робіт під робочою напругою.

Роботи під напругою на лініях електропередачі надвисокої напруги в колишньому Радянському Союзі було вперше широко впроваджено в енергооб'єднаннях Міненерго України. При цьому перевагу було надано методу роботи на потенціалі, оскільки цей метод порівняно зі штанговим методом, який широко застосовувався за кордоном, дав змогу неабияк спростити конструкцію допоміжних пристроїв, підвищити продуктивність праці та разом із забезпеченням достатнього захисту персоналу від несприятливого впливу електромагнітних полів високої напруги набагато підвищити безпеку робіт.

На відміну від відомих зарубіжних методів розроблені в Міненерго України технології робіт під напругою передбачають доставку робітників до струмопровідних частин, які перебувають під напругою, безпосередньо із землі. При цьому людина, яка виконує роботу в електромагнітному полі високої інтенсивності за умов великого психологічного навантаження, звільнена від тяжкої фізичної праці.

Підвищена безпека доставки людини до зони роботи на потенціалі проводу забезпечується застосуванням спеціальної системи страхування. Технології виконання всіх видів робіт ґрунтуються на застосуванні виробів, матеріалів та пристроїв вітчизняного виробництва.

Розроблена система захисту людини від несприятливого впливу електричного поля дозволяє виконувати роботу за умов дії факторів, інтенсивність впливу яких на два порядки вище, ніж та, з якою доводилось стикатися під час виконання робіт на лініях електропередачі до впровадження робіт під напругою.

Під час освоєння робіт під напругою було створено новітні технологічні схеми виконання робіт на підтримувальних ізолювальних підвісках, натяжних гірляндах ізоляторів, на проводах та їх арматурі, в прогоні ліній електропередачі, на блискавкозахисних тросах. Освоєно роботи на обладнанні відкритих розподільних пристроїв підстанцій.

В енергооб'єднаннях України було визначено умови виконання робіт і вимоги до захисту персоналу, проведено розрахунки допустимої відстані наближення до струмопровідних частин та мінімальної кількості дефектних ізоляторів в ізоляційних підвісках, за якої допускається робота під напругою. Експериментальні виміри на діючих полігонах і лініях електропередачі підтвердили результати досліджень, проведених в період розроблення та проектування ліній електропередачі надвисокої напруги.

Насамперед розглянемо, як роботи під напругою впроваджувались на найвідповідальніших ПЛ 330 – 750 кВ.

Уперше роботи під напругою на струмопровідних частинах із заміни ізолювальних підвісок, а також на проводах ПЛ 330 кВ було проведено в Міненерго СРСР (у Білоруській енергосистемі) у червні 1981 року. Пристосування для проведення цих робіт було виготовлено німецькими фахівцями. Ними ж була навчена бригада Мінського ПЕС і виконана перша робота.

Основні ремонтні роботи виконувались на ПЛ під робочою напругою. Доставку електромонтера до проводу здійснювали з використанням сходів типу «маятник». Для виконання ремонтних робіт на проводі в прогоні застосовувався спеціальний візок, який встановлювали на два проводи розщепленої фази ПЛ. Заміна підтримної гірлянди ізоляторів на проміжній опорі здійснювалась бригадою з 6 чоловік. Бригаді надавався вантажний автомобіль і телескопічна вишка. За 15 днів було замінено 406 дефектних ізоляторів (тобто близько 20 гірлянд ізоляторів).

За пропозицією Молдглавенерго було освоєно ще одну оригінальну технологію виконання робіт під напругою, а саме: ізолювальну підвіску відчеплювали і застосовували систему переміщення до стояка опори; звідти підвіску спускали на землю для ремонту або заміни. Ізолювальні сходи навішувалися безпосередньо на провід. Крім того, вони були забезпечені спеціальною площадкою, яка полегшувала вихід електромонтера до проводу і проведення робіт.

У 1982 році цю технологію було удосконалено та застосовано для ПЛ 400 кВ, побудованої в габаритах 500 кВ. Через великі габарити і застосування на ПЛ опор із широкою траверсою вдалося істотно спростити роботи, але давався взнаки ще один недолік, який полягав у тому, що необхідність підйому електромонтера хиткими сходами на висоту до 22 м становила велике фізичне навантаження.

Освоєння робіт ПРН на ПЛ 750 кВ здійснювалося послідовно. Передусім, бригада фахівців пройшла курс навчання на підприємстві електричних мереж в Угорщині. Було набуто досвід використання різних комплектів пристосувань для ПРН. Потім було проведено випробувальні роботи на діючій ПЛ 750 кВ, розроблено інструктивні матеріали, проведено навчання бригад електромонтерів і керівних інженерно-технічних працівників.

Згодом було організовано та проведено масові роботи на ПЛ 750 кВ. За необхідності виконання ремонтних робіт на проводах ПЛ 750 кВ у прогоні між опорами на проводи навішується підвісний візок, ковзанки якого пересуваються по проводах. У візок пересаджується електромонтер, що виконує роботи під напругою, а електромонтери з землі поліпропіленовими канатами пересувають візок до місця виконання робіт.

До кінця 1982 року в Радянському Союзі було освоєно роботи під напругою на ПЛ надвисокої напруги 330 – 750 кВ, почато роботи з удосконалення і створення більш прогресивних методів роботи. Ці розробки передбачали такі вимоги:

- універсальність схем провадження робіт на всіх найпоширеніших типах опор і в прогонах ПЛ із різними конструктивними особливостями компонування фаз;
- однотипність пристосувань і пристроїв, застосовуваних під час виконання робіт на ПЛ різних конструкцій;
- можливість проведення робіт ПРН без під'їзду автомобілів до опор для унеможливлення заподіяння збитку сільськогосподарським угіддям;
- поліпшення умов праці, підвищення продуктивності та безпеки виконання робіт.

Для перевірки достатності запасів електричної міцності ізоляції ПЛ було проведено випробування електричної міцності комплексу ізолювальних конструкцій для виконання робіт ПРН.

У процесі випробувань оцінювався вплив поліпропіленових канатів, довжини яких перевищували будівельну довжину ізолювальної підвіски ПЛ на 10 %. Випробування виконувалися стандартними атмосферними і комутаційними імпульсами, а також напругою промислової частоти. Результати випробувань підтвердили доцільність обраної технології виконання робіт під напругою.

Висновки

Розглянуто світовий та вітчизняний досвід розроблення та запровадження технологій обслуговування електричних мереж під робочою напругою. Проаналізовано найпоширеніші методи виконання зазначених робіт. Наведено приклади організації міжнародного співробітництва із організації навчання робітників методам організації робіт на електроустановках, що перебувають під робочою напругою.

Завдання для самоперевірки

1. Наведіть найхарактерніші технології та методи обслуговування обладнання електричних мереж під робочою напругою.
2. Порівняйте розвиток технологій робіт ПРН у різних країнах.
3. Наведіть найхарактерніші види виконання робіт в електричних мережах під робочою напругою.
4. Поясніть відмінності у технологічних прийомах виконання робіт ПРН в електричних мережах різних класів напруги.
5. Обґрунтуйте доцільність організації та проведення обслуговування обладнання електричних мереж під робочою напругою.
6. Охарактеризуйте приклади вітчизняного досвіду із запровадження робіт ПРН.
7. Наведіть приклади міжнародної співпраці із розвитку технологій робіт ПРН та навчання персоналу.
8. Дайте характеристику найпоширенішим методам виконання робіт в електричних мережах під робочою напругою.

РОЗДІЛ 2

УМОВИ ВИКОНАННЯ РОБІТ ПІД НАПРУГОЮ ТА ДОТРИМАННЯ ПРАВИЛ БЕЗПЕКИ

Мета викладеного у розділі матеріалу:

- ознайомлення з чинною нормативною базою щодо організації безпечного виконання робіт з обслуговування електричних мереж під робочою напругою;
- дослідження впливу електромагнітного поля на працівників, що виконують роботи на електроустановках під напругою;
- ознайомлення з послідовністю проведення розрахунків напруженості електричного поля та індукції магнітного поля, під дією яких перебувають працівники;
- визначення умов безпечного виконання робіт на електроустановках під робочою напругою.

2.1. Нормативна база щодо безпечного виконання робіт ПРН

В процесі виконання робіт ПРН персонал може піддаватися впливу таких небезпечних та шкідливих факторів:

- дії електричної і магнітної складових електромагнітного поля (ЕМП);
- дії струмів, що протікають через тіло людини;
- дії імпульсних струмів, що мають місце у момент перенесення потенціалу проводу на того, що працює.

Електричні та магнітні поля промислової частоти є головними біологічними факторами для працівників, які займаються обслуговуванням електроустановок ПРН. Тривалий вплив зазначених полів, що перевищують допустимі рівні, призводить до негативних змін у функціональному стані нервової, серцево-судинної, ендокринної та імунологічної систем організму.

В Радянському Союзі дослідження дії ЕМП на організм людини було започатковано в 50-х роках ХХ століття у зв'язку з поширенням робіт ПРН. Було розроблено перші норми і правила з охорони праці під час робіт на підстанціях і ПЛ напругою 400, 500 і 750 кВ [12].

Напруженість електричного поля в безпосередній близькості від проводів ПЛ 750 кВ може досягати 1900-2000 кВ/м, що на два порядки перевищує гігієнічні нормативи, згідно з якими без засобів захисту і обмеження за часом роботи ПРН можуть виконуватися при напруженості електричного поля, не що перевищує 5 кВ/м (порогове значення), а при напруженості більше 25 кВ/м виконання робіт допускається лише із застосуванням відповідних засобів захисту [2].

Значення напруженості електричного поля на поверхні тіла людини, які мають місце під час виконання робіт ПРН без засобів захисту, оцінювалися розрахунковим методом і визначалися експериментально. Згідно із виконаними розрахунками напруженість поля при контакті людини з проводом ПЛ 750 кВ знаходиться в межах 1000 – 6000 кВ/м.

Значення імпульсних струмів (енергії розряду) через людину у момент перенесення потенціалу з проводу, що знаходиться під напругою 330 – 750 кВ, на людину складають від 140 до 390 А.

Питаннями регулювання впливу ЕМП, а також контролю за джерелами випромінювання в зарубіжних країнах опікуються профільні державні установи, що відають енергетикою, зв'язком і телекомунікаціями, а також природоохоронні організації. Так, у США – це Агентство з охорони навколишнього середовища (US Environment Protection Agency), у Німеччині – Міністерство з охорони навколишнього середовища і ядерної безпеки (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit), у Нідерландах – Міністерство будівництва, територіального планування та охорони навколишнього середовища (Departament of Housing, Spatial Planning and the Environment) та ін.

Міжнародна Рада з великих електроенергетичних систем (Conseil International des Grands Réseaux Electriques – CIGRE) – це неурядова міжнародна асоціація, основним завданням якої є обмін технічними знаннями та інформацією між інженерним персоналом і технічними фахівцями в сфері генерування і передавання електроенергії на високій напрузі. CIGRE визнана як провідна всесвітня електроенергетична асоціація, що охоплює технічні, економічні і організаційні проблеми в галузі електроенергетики, а також питання регулювання та охорони навколишнього середовища.

Міжнародну електротехнічну комісію (МЕК) було створено в 1906 р. за рішенням електротехнічного Конгресу, який відбувся в 1904 р. в м. Сент-Луїс, США для розроблення міжнародних стандартів угалузі електротехніки. Першим президентом МЕК був лорд Кельвін.

Сьогодні до складу МЕК входять більше 170 технічних комітетів, в яких діють 1100 робочих груп. У робочих групах на добровільній основі працюють понад 9000 експертів. Щорічний обсяг випуску нових і перегляду чинних стандартів перевищує 500 найменувань.

Одним з активно працюючих технічних комітетів МЕК є 78-й комітет, який опікується проблемами безпеки проведення ремонтних робіт на електроустановках під напругою. У комітеті працюють п'ять груп: РГ 1 (Термінологія та символіка); РГ 11 (Технічна підтримка); РГ 12 (Інструменти та обладнання); РГ 13 (Засоби захисту); РГ 14 (Діагностичне обладнання).

У свою чергу в кожній групі збирається до декількох проектних (Project Team) або ревізійних (Maintenance Team) команд, які працюють над такою проблематикою, що стосується робіт ПРН:

- показчики напруги ємнісного типу на напругу понад 1 кВ змінного струму;
- показчики напруги резистивного типу на напругу 1-36 кВ змінного струму;
- двополюсні показчики низької напруги;
- портативні показчики фази для роботи в мережах 1-36 кВ змінного струму;
- показчики напруги до 1000 В;
- екрануючі комплекти для робіт ПРН в електроустановках з номінальною напругою до 800 кВ;
- ручний інструмент для робіт в електроустановках 1000 В змінного струму;

- вишки з ізолювальною ланкою;
- килимки і накладки з ізоляційних матеріалів для робіт ПРН;
- портативне обладнання для накладання тимчасових заземлень і закороток;
- скоби, затискачі для штанг і пристосування для робіт ПРН;
- сходи з ізоляційних матеріалів;
- дугостійкі матеріали для термозахисної робочого одягу;
- вогнестійкі матеріали для захисних костюмів;
- ізолюювальні канати;
- трубки з пінним наповненням і жорсткі стрижні;
- ізолювальні рукавички.

Найперспективнішими напрямками роботи технічних Комітетів МЕК на найближчі роки у галузі здійснення робіт ПРН визнано такі:

- формулювання вимог до захисних властивостей екранувальних комплектів від дії високих частот, що генеруються короною;
- дослідження впливу підвищеної вологості на інструменти і пристосування;
- розроблення критеріїв випробувань ізолювальних пристосувань змінного і постійного струму;
- роботи і маніпулятори для виконання робіт ПРН;
- сходи і підйомники з ізолювальною ланкою для виконання робіт ПРН;
- основні вимоги до ізолювальних канатів з герметичною оболонкою;
- захист персоналу від впливу ЕМП;
- основні вимоги до підвісних обмежувачів перенапруги, призначених для захисту зони ПРН в обмежених умовах;
- попередня діагностика ізолювальних підвісок та інших частин електроустановок, що знаходяться в зоні ПРН або поблизу неї.

Сьогодні у світі не існує однозначних норм з обмеження впливу ЕМП. Під час опрацювання національних норм більшість країн використовують рекомендації провідних міжнародних організацій у цій сфері. Це, перш за все, – Європейський комітет з електротехнічних стандартів (CENELEC), Міжнародна організація з радіаційного захисту (IRPA), а також Всесвітня організація охорони здоров'я. Продовжуються також роботи над Міжнародним проектом щодо захисту від наслідків впливу ЕМП, які мають привести до взаєморозуміння у справі введення єдиних норм з обмеження впливу ЕМП для різних країн.

Обґрунтування норм дії ЕМП останніми роками стає все актуальнішим, при цьому виявляються дві тенденції [13]:

- прагнення встановити більш жорсткі норми, закладаючи в них підвищені коефіцієнти запасу для обмеження можливості вияву науково не встановлених механізмів впливу на здоров'я (наприклад, слабких, але тривало діючих магнітних полів промислової частоти);
- прагнення оцінити реальні ризики дії полів на стан здоров'я людини і на цій базі відкоригувати існуючі й обґрунтувати нові норми допустимих напруженостей полів і відповідних обмежень їх дії на людей.

Загальним параметром, що визначає ступінь впливу ЕМП на організм, є щільність наведеного в тілі струму. За результатами медико-біологічних досліджень встановлено гранично допустиму щільність струму в тілі, яку використовують для визначення граничних параметрів ЕМП, що підлягають контролю. Такими параметрами є напруженості електричного поля (ЕП) та магнітного поля (МП). У більшості міжнародних стандартів визначено безпечну для організму щільність струму в 10 мА/м^2 .

Вплив дії ЕМП на людину та його нормативне обмеження визначено стандартами Міжнародної електротехнічної комісії (ІЕС) в документах: ІЕС 62226-1 ed1.0 (2004-11), Частина 1, 2; ІЕС 62226-3-1 ed1.0 (2007-05), Частина 1–3 та ін.

Найобґрунтованішими і повними є Норми Ради Європи (CEU) ENV50166, запропоновані Технічним комітетом CENELEC, що є правовим документом для захисту персоналу від впливу ЕМП. Базовими значеннями напруженості ЕП зазначених норм при тривалому впливі прийнято: постійне поле – 42 кВ/м. Для змінного струму у діапазоні частот 4 – 1000 Гц за базове значення прийнято щільність струму в 10 мА/м², якому за частоти 50 Гц відповідає напруженість електричного поля 20 кВ/м.

Більшість зарубіжних країн мають національні стандарти або інструкції, які нормують припустимі рівні впливу ЕП для населення та персоналу, що в основному відповідають рекомендованим відповідними міжнародними організаціями. Прийняті Радою Європи рішення мають характер директиви. Інститути, органи й організації країн – членів ЄС юридично зобов'язані їх виконувати та забезпечувати впровадження в життя. У більшості країн – членів ЄС на основі рекомендацій CENELEC прийнято національні нормативні значення ЕП.

Більшість зарубіжних країн в частині нормування МП промислової частоти дотримуються рекомендацій, запропонованих CENELEC.

Спільним рішенням країн Євросоюзу рекомендовано значення допустимого рівня напруженості МП – 80 А/м при перебуванні під дією магнітного поля без часових обмежень. На основі рекомендацій міжнародних організацій та Євросоюзу у країнах – членах ЄС прийнято національні рівні допустимого випромінювання магнітного поля з огляду на часове обмеження його дії.

Слід зазначити, що максимально допустимі значення напруженостей ЕП та МП, а також щільності наведеного струму та часу їх дії у стандартах, рекомендаціях та нормативах деякі міжнародні та національні організації беруть для різних ділянок тіла такі: голову та тулуб, голову й область серця або все тіло.

Директивою Європарламенту і Ради ЄС 2004/40 від 29 квітня 2004 р. як зміни та доповнення до Директиви Ради 89/391/ЄС введено мінімальні вимоги щодо безпеки й охорони здоров'я працівників за наявності ризиків від дії ЕМП.

Директивою 2004/40 визначено мінімальні вимоги щодо рівня впливу ЕМП, що дає змогу країнам підтримувати або приймати в національних стандартах необхідні положення щодо захисту працівників, затверджувати більш низькі значення робочих і гранично допустимих впливів ЕМП.

Директивою встановлено граничні значення ЕП і МП залежно від частот джерел і питомого поглинання енергії. Директивою також встановлено порядок розрахунку щільності струму та швидкості поглинання енергії (SAR), а також визначено відповідні робочі значення напруженості ЕП, МП та щільності потоку енергії.

Розглянемо стан нормативно-правового регулювання ПРН в Україні.

Наказом Міністерства охорони здоров'я України від 18.12.2002 р. № 476 з 01.04.2003 р. введено в дію «Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів». Зазначеним документом встановлено вимоги до умов праці робітників, які виготовляють, експлуатують, обслуговують і ремонтують обладнання, під час роботи якого виникають постійні ЕМП та електромагнітні випромінювання (ЕМВ).

В основу Норм закладено принцип, відповідно до якого безпечним для людини є гранично допустимі рівні ЕМП, вплив яких не має викликати захворювань або відхилень у стані здоров'я людини в момент впливу або в пролонгованому періоді.

Гігієнічні нормативи в Україні розробляють на підставі гігієнічних, клініко-фізіологічних, епідеміологічних та експериментальних досліджень. За результатами цих досліджень визначається поріг шкідливої дії, тобто такого впливу ЕМП, за якого в організмі відбуваються зміни життєвих процесів, що виходять за межі припустимих відхилень.

Гранично допустимі рівні впливу ЕП встановлено «Державними санітарними нормами і правилами захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань», затвердженими наказом Міністерства охорони здоров'я України від 1 серпня 1996 р. № 239.

Перебувати в ЕП з рівнем напруженості до 5 кВ/м включно допускається протягом 8 год робочого дня. При напруженості ЕП від 20 до 25 кВ/м перебування персоналу в ЕП не повинне перевищувати 10 хвилин. За необхідності встановлення допустимого рівня напруженості ЕП за регламентованого часу роботи розраховується згідно з Державними санітарними нормами та правилами при роботі з джерелами електромагнітних полів».

Гранично допустимі рівні впливу МП в Україні регламентовано «Державними санітарними нормами та правилами при роботі з джерелами електромагнітних полів» (наказ МОЗ України від 18.12.2002 р. № 476) залежно від часу перебування персоналу для умов загального впливу (на все тіло) і локального (на кінцівки).

Нормативним документом ДСанПіН №198-97 «Державні санітарні норми і правила при виконанні робіт у невимкнених електроустановках напругою до 750 кВ включно» встановлено гранично допустимі рівні напруженості ЕМП промислової частоти при виконанні робіт в невимкнених електроустановках залежно від часу та місць впливу цих факторів на організм людини. При дії на весь організм людини гранично допустимі рівні напруженості визначаються по ЕП – 25 кВ/м, а по МП – 6 кА/м. При впливі тільки на кінцівки людини (руки до ліктів, ноги до колін) гранично допустимі рівні ГДР напруженості визначаються по ЕП – 25 кВ/м, а МП – 12 кА/м. Перебування незахищеної людини в ЕП напруженістю до 5 кВ/м включно дозволяється протягом усього робочого дня (8 годин).

Наказом Мінпаливенерго від 20.10.2008 р. № 512 затверджено та введено в дію нормативний документ СОУ-Н ЕЕ 20.179:2008 «Розрахунок електричного і магнітного полів ліній електропередачі. Методика», у якому зокрема зазначено, що:

- рівень напруженості ЕП розраховується у випадках, передбачених «Державними санітарними правилами планування та забудови населених пунктів» та «Державними санітарними нормами і правилами захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань»;
- індукцію МП під час проектування потрібно розраховувати для ПЛ з перерізом проводів понад 95 мм²;
- значення впливових величин ПЛ розраховують для номінальної напруги і максимального симетричного навантаження в нормальному режимі роботи за відповідності показників якості електричної енергії (ГОСТ 13109-97 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения»);
- значення напруженості ЕП ПЛ обчислюють на висоті 1,8 м над поверхнею землі.

Захист персоналу від впливу ЕМП промислової частоти, здатних негативно впливати на організм людини, в електроустановках потрібно забезпечувати відповідно до вимог: ГОСТ 12.1.002-84 «Система стандартов безопасности труда. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах»; ДСН 198-97 «Державні санітарні норми і правила при виконанні робіт у невимкнених електроустановках напругою до 750 кВ включно» тощо.

В Україні контроль та нагляд за дотриманням чинних норм і стандартів на об'єктах електроенергетики здійснюють Центральна санітарно-епідеміологічна станція МОЗ України та її підрозділи в регіонах.

Перелік основних чинних в Україні нормативних документів щодо обмеження впливу електромагнітних полів наведено в **табл. 2.1**.

Таблиця 2.1. Перелік основних нормативних документів щодо обмеження впливу шкідливих та небезпечних факторів при виконанні робіт ПРН

Назва документа	Шифр
Державні санітарні норми та правила при роботі з джерелами електромагнітних полів	ДСН 476-2002 (ДСанПіН 3.3.6.096-2002)
Розрахунок електричного і магнітного полів лінії електропередачі. Методика	СОУ-Н ЕЕ 20.179:2008
Державні санітарні норми і правила при виконанні робіт в невідкритих електроустановках напругою до 750 кВ включно	ДСанПіН № 198-97
Електрична частина електростанції та електричної мережі. Терміни та визначення	ДСТУ 3429-96
Комплект індивідуальний екранувальний для захисту від електричних полів промислової частоти. Загальні технічні вимоги та методи контролювання	ДСТУ 4368:2005
ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация	ГОСТ 12.4.011-89
ССБТ. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры	ГОСТ 12.4.154-85
Система стандартов безопасности труда. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах	ГОСТ 12.1.002-84
Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения	ГОСТ 13109-97
Система стандартов безопасности труда. Комплект индивидуальный экранирующий для защиты от полей промышленной частоты. Общие технические требования и методы контроля	ГОСТ 12.4.172-87

Продовження табл. 2.1

Штанги изолирующие оперативные и штанги переносных заземлений. Общие технические условия	ГОСТ 20494-90
Производство ремонтных работ под напряжением в электроустановках. Основные требования	ГОСТ 28259-89
Определение уровней воздействия электромагнитного поля промышленной частоты на персонал энергетических предприятий. Методика определения	ГКД 34.03.501-94
Технічна експлуатація електричних станцій і мереж: Правила	ГКД 34.20.507-2003
Розподільні пристрої та повітряні лінії електропередачі змінного струму напругою 330, 400, 500 і 750 кВ. Правила захисту обслуговуючого персоналу від впливу електричного поля	ГКД 34.03.601-95
Санитарные нормы и правила выполнения работ в условиях влияния электрических полей промышленной частоты (50 Гц)	ДНАОП 0.03-3.21-91
Правила безпечної експлуатації електроустановок	ДНАОП 1.1.10-1.01.97
Руководящие указания по защите персонала, обслуживающего распределительные устройства и воздушные линии электропередачи переменного тока напряжением 400, 500 и 750 кВ, от воздействия электрического поля	НАОП 1.1.10-6.04-80
Правила промсанітарії при виконанні робіт на невимкнених повітряних лініях електропередачі змінного струму напругою 110 – 1150 кВ	НПАОП 40.1-1.08-90
Правила будови електроустановок Електрообладнання спеціальних установок	НПАОП 40.1-1.32-01
Типове положення про навчання, інструктаж та перевірку знань робітників з питань охорони праці	ДНАОП 0.00-4.12-99
Правила експлуатації електрозахисних засобів	НПАОП 40.1-1.07-01
Правила безпечної роботи з інструментом та пристроями	НПАОП 0.00-1.30-01
Типове положення про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з питань охорони праці	Наказ Держнаглядохоронпраці від 04.04.94 р. № 30
Порядок проведення атестації робочих місць за умовами праці	Постанова КМУ від 01.08.1992 р. № 442

Закінчення табл. 2.1

Положення про розслідування та облік нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на підприємствах, в установах і організаціях	Постанова КМУ від 30.11.2011 р. № 1232
Методичні рекомендації для проведення атестації робочих місць за умовами праці	Постанова КМУ від 01.08.1992 р. № 442
Перелік робіт, де є потреба у професійному доборі	Наказ МОЗ № 263/121 від 23.09.94 р.
Перелік робіт з підвищеною небезпекою	Наказ Держнаглядохоронпраці від 30.11.93 р.
Положення про медичний огляд працівників певних категорій	Наказ МОЗ України від 31.03.94 р. № 45
Перелік важких робіт і робіт з шкідливими і небезпечними умовами праці, на яких забороняється застосування праці неповнолітніх	Наказ МОЗ України від 31.03.94 р. № 46

Порівняння наведеної української нормативно-технічної документації з чинними документами МЕК щодо проведення робіт ПРН показує, що вітчизняних стандартів явно недостатньо. До того ж більшість вітчизняних нормативних документів давно не переглядалися і відповідно до закону «Про технічне регулювання» мають лише рекомендаційний характер. Проте, за тематикою «Електромагнітна сумісність» більше десяти українських стандартів базуються на чинних стандартах МЕК.

В різних країнах при однаковій вихідній щільності наведеного струму кінцеві нормовані значення напруженості відрізняються, як для ЕП, так і для МП. Це пов'язано з тим, що при їх розрахунках за встановленими відповідними нормативними документами формулами брались різні коефіцієнти для моделювання біологічного об'єкта.

Процес перегляду норм із впливу напруженості електричних, магнітних і електромагнітних полів на людину сьогодні є надзвичайно динамічним. Нормативні документи міжнародних організацій, а також низки зарубіжних країн часто переглядаються і корегуються, іншим стає їхній правовий статус.

Якщо раніше критерії, пропоновані такими організаціями, як CENELEC і IRPA, мали рекомендаційний характер і не мали правової сили, то, наприклад, норми Євросоюзу CEU ENV 50166 із захисту персоналу на робочих місцях від ЕМП, прийняті у 1995 р., набули статусу правового документа з юридичними наслідками, а DIN EN – німецьке видання європейського стандарту без будь-яких змін приймається практично всіма членами Європейського комітету зі стандартизації (CEN) та Європейського комітету з нормування у сфері електротехніки (CENELEC).

Слід зазначити, що чинні в Україні норми щодо допустимої напруженості ЕМП на робочих місцях більш жорсткі, ніж чинні міжнародні норми. Проте вони потребують удосконалення і доповнення.

Для підвищення рівня захисту персоналу від впливу напруженості МП при проведенні ремонтно-експлуатаційних робіт на ПЛ під напругою необхідно продовжити медико-біологічні дослідження з врахуванням дії вектора напруженості магнітного поля відносно положення тіла людини, від чого залежить достовірність визначення рівня допустимої напруженості магнітного поля.

Процес перегляду вже встановлених і розроблення нових норм та стандартів при проведенні ремонтно-експлуатаційних робіт під напругою на людину в усьому світі викликано необхідністю об'єктивної оцінки реальної небезпеки для здоров'я та попередження можливих ризиків вияву маловивчених механізмів впливу на людину.

Зважаючи на те, що єдиних принципів нормування безпечних рівнів ЕМП для персоналу, що виконує роботи ПРН, немає, у світовій енергетичній практиці продовжується робота з уніфікації підходів до нормування напруженості ЕП та МП, а також допустимого часу їх впливу на персонал [13].

2.2. Вплив електромагнітного поля під час проведення робіт під робочою напругою

Напруженість електромагнітного випромінювання від дії ЕП характеризується значенням E , В/м, від дії магнітного поля – значенням H , А/м, а також щільністю об'ємного заряду іонів, викликаного короною проводів і арматури повітряних ліній електропередачі. При цьому напруженість електричного поля пропорційна напрузі (заряду) і обернено пропорційна відстані до предмета впливу, а напруженість магнітного поля пропорційна значенню струму, що проходить через предмет впливу, і обернено пропорційна відстані до нього. Параметри цих полів і обсяг іонів залежать від класу напруги, конструктивних особливостей і геометричних розмірів устаткування.

Джерелами електромагнітного випромінювання є потужні радіопередавальні пристрої, електрифіковані транспортні засоби, повітряні лінії електропередачі та інші об'єкти електроенергетики.

Потужні електричні поля промислової частоти в основному створюються об'єктами електроенергетики (ПЛ високої напруги, збірні шини підстанцій, трансформатори і апарати високої напруги). Рівень напруженості ЕП, створюваного ПЛ, залежить від конструкційно-будівельних параметрів (діаметру і кількості проводів, відстані між ними, висоти їх над поверхнею землі). У зв'язку з цим рівні впливу на людей, що знаходяться під ПЛ, залежать від відстані до струмоведучих частин.

Найбільше значення ЕП реєструється під час перебування людини безпосередньо під проводами і по центру між опорами ПЛ. По мірі віддалення від осі ПЛ і ближче до опор рівні впливу напруженості поля знижуються до мінімальних значень. Обслуговуючий персонал енергооб'єктів піддається, як правило, короткочасному впливу сильних ЕП.

У екстремальних випадках, наприклад, при виконанні робіт на ПЛ під напругою, персонал перебуває в зоні значно підвищеного впливу напруженості ЕП і МП. Дальність поширення магнітного поля залежить від сили струму, який протікає, або від навантаження ПЛ. Оскільки навантаження ПЛ може неодноразово змінюватися як протягом доби, так і залежно від зміни сезонів року, то розміри зони підвищеного рівня МП також змінюються.

Кабельні лінії створюють дещо більші напруженості, ніж ПЛ, проте напруженість ЕП і МП зменшується швидше при віддаленні від кабелю, і зона відчутного поля зазвичай не перевищує декількох десятків метрів.

Проведені в 70-ті роки ХХ століття дослідження показали, що максимальний струм у тілі людини, індукований ЕП, є набагато вищим, ніж струм, викликаний МП. Ця обставина на певному етапі досліджень дала змогу зробити необґрунтований висновок про практичну відсутність біологічного впливу магнітних полів промислової частоти на людей і тварин у санітарно-захисних зонах ПЛ.

У той же час, у результаті ряду зарубіжних досліджень було підтверджено біологічну активність впливу МП промислової частоти, використовуваної в енергетиці з урахуванням інтенсивності та часу їх впливу, особливо пролонгованого в часі впливу на подальше покоління, що ускладнює медико-біологічні дослідження. У результаті досліджень було рекомендовано передбачати обмежувальні заходи в зоні впливу МП. Міжнародна комісія із захисту від неіонізуючих випромінювань (ICNIRP) визначила перші нормативні документи з регламентації впливу магнітного поля.

Обґрунтування норм дії ЕМП в останні роки стає все актуальнішим. При цьому слід зазначити, що процес перегляду норм із впливу напруженості електричних, магнітних і електромагнітних полів на людину сьогодні є надзвичайно динамічним. Найвищі допустимі величини напруженості електричного поля для різних країн та рекомендації міжнародних організацій наведено в **табл. 2.2** [13].

Таблиця 2.2. Найвищі допустимі величини напруженості електричного поля для різних країн та рекомендації міжнародних організацій

Держава або міжнародна організація	Величина допустимого випромінювання електричного поля, кВ/м	Зона застосування
CENELEC	10	Перебування в полі без часового обмеження
IRPA	5	Перебування в полі без часового обмеження
	10	Перебування в полі протягом декількох годин
Австрія	5	Перебування в полі без часового обмеження
	10	Перебування в полі короткочасне
Австралія	5	В місцях житлових будинків
	10	На інших територіях
Бельгія	5	Перебування в полі без часового обмеження
	10	Перебування в полі короткочасне
Великобританія	12,3	Перебування в полі без часового обмеження
Естонія	5	Перебування в полі без часового обмеження згідно з рекомендаціями IRPA
Італія	5	Перебування в полі без часового обмеження
	10	Перебування в полі короткочасне
Німеччина	5	Перебування в полі без часового обмеження
	10	Перебування в полі протягом 2 годин на добу
Польща	1	В місцях житлових будинків
	10	В інших місцях, доступних для людей
Словенія	0,5	В місцях житлових будинків
	10	В місцях, доступних для людей
Франція	5	Для енергетичних систем, що працюють в нормальному режимі
Швейцарія	5	В місцях, доступних для людей
Японія	3	Перебування в полі короткочасне
Пропозиція для Євросоюзу	5	Перебування в полі без часових обмежень

Примітки: CENELEC – Європейський комітет з електротехнічних стандартів;
IRPA – Міжнародна організація з радіаційного захисту.

На даний час пропозиція для Євросоюзу для випадку перебування в полі без часових обмежень, яка дорівнює 5 кВ/м, прийнята за основу практично всіма країнами.

Приклади перебування персоналу під дією ЕМП під час проведення робіт ПРН наведено на **рис. 2.1** та **рис. 2.2**.



Рис. 2.1. Приклади перебування персоналу під дією ЕМП

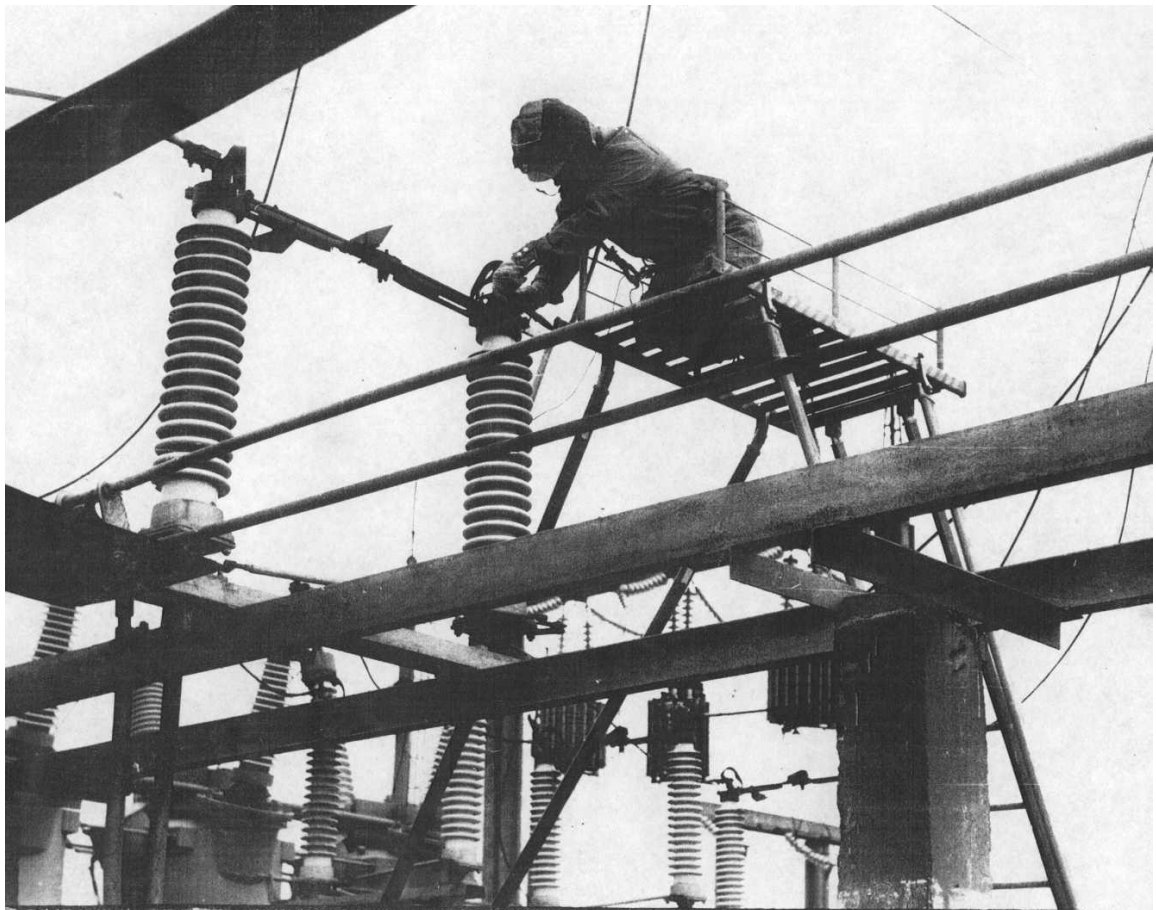


Рис. 2.2. Перебування електромонтера у зоні сильного впливу ЕМП під час робіт на електроустановках високої напруги

Слід розрізняти вплив відносно слабких, але тривало діючих полів, і полів значної інтенсивності з терміном дії протягом обмеженого часу.

Перший випадок є характерним щодо дії на населення, яке мешкає або часто перебуває у місцях, де поблизу можуть бути розташовані підприємства, що використовують потужні електроенергетичні установки. Здебільшого це електростанції, підстанції електричних мереж або повітряні лінії електропередачі. Особливо це стосується високої чи надвисокої напруги.

Другий випадок стосується людей, що працюють на цих підприємствах. Особливо сильний вплив ЕМП відчувається у разі наближення до джерел випромінювання, наприклад, під час проведення ремонтів на невідключених електроенергетичних установках. Тому впливи ЕМП за цими двома випадками вивчались окремо і, як встановлено дослідженнями, в кожному з цих випадків є дуже суттєві відмінності.

Про безсумнівний інтерес до проблеми виконання операцій з ремонтно-експлуатаційного обслуговування методом проведення робіт ПРН, зокрема щодо дії ЕМП під час ПРН, свідчить проведення численних світових (ESMO) і європейських (ICOLIM) конференцій.

На цих конференціях, як зазначалося вище, розглядалися, зокрема, такі питання:

- розвиток методів робіт ПРН у різних країнах, в окремих енергосистемах і підприємствах;
- забезпечення комфорту і безпеки проведення робіт ПРН;
- застосовувані методи і засоби робіт ПРН;
- ефективність методів робіт ПРН порівняно з традиційними методами виконання робіт;
- дослідження та розроблення сучасних методів і засобів робіт ПРН;
- вивчення впливу і розроблення засобів захисту персоналу від впливу ЕМП.

На **рис. 2.3** наведено приклад дії розряду, який виникає у разі наближення до проводів ПЛ надвисокої напруги через ємність людини, поки не вирівняються потенціали проводу і людини.

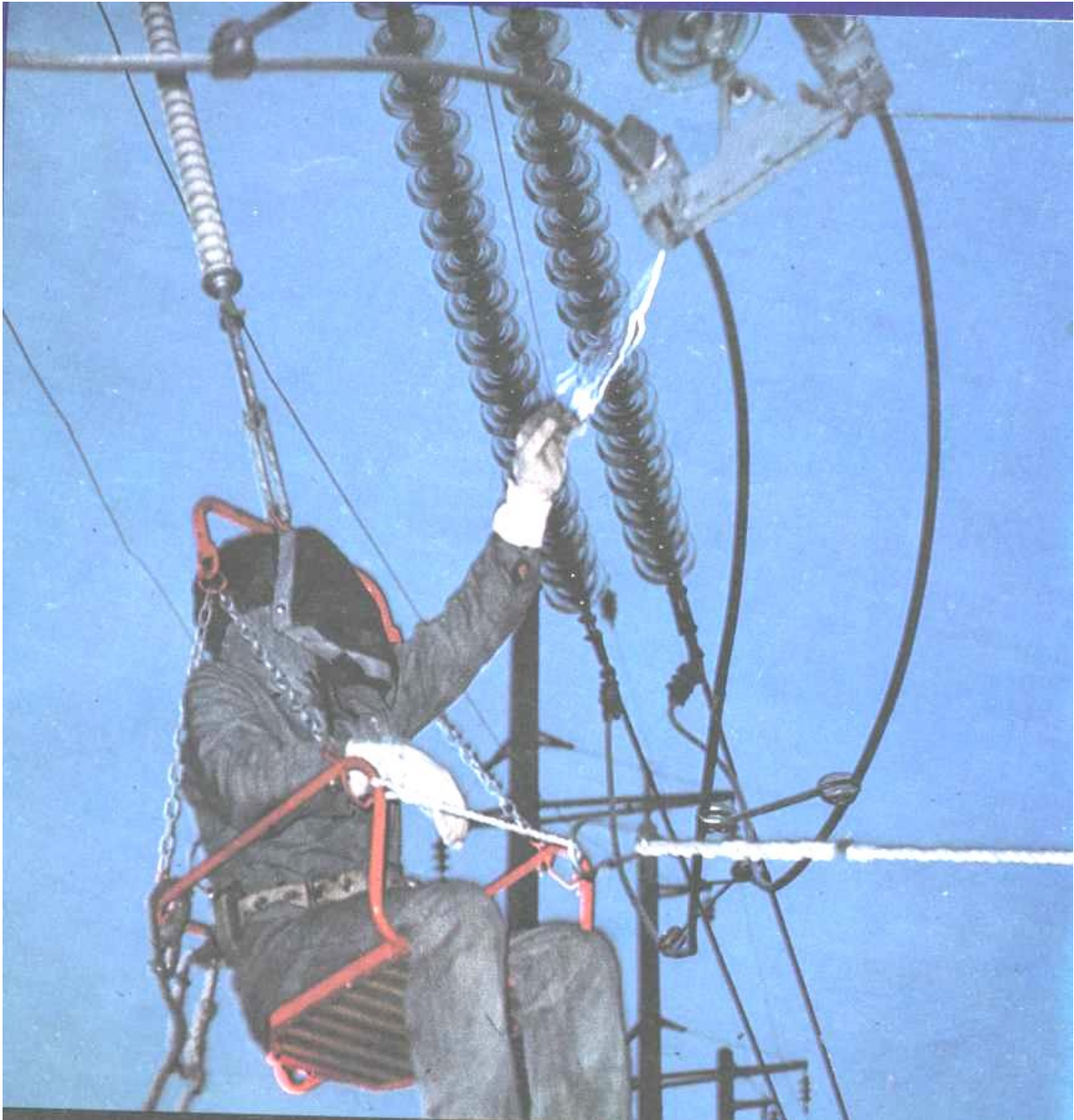


Рис. 2.3. Дія розряду, який виникає у разі наближення до проводів ПЛ надвисокої напруги через ємність людини, поки не вирівняються потенціали проводу і людини

Під вплив електромагнітного поля підпадає не тільки персонал, працюючий біля проводів (у безпосередній близькості від проводів 750 кВ напруженість електричного поля (ЕП) може сягати 1900-3000 кВ/м), але і виконуючий операції на опорах ПЛ напругою 110 кВ та вище.

Відповідно до прийнятих в Україні гігієнічних нормативів без засобів захисту та обмеження за часом роботи можуть виконуватись в зоні з напруженістю ЕП, яка не перевищує 5 кВ/м (порогове значення).

При напруженості ЕП від 20 до 25 кВ/м час знаходження персоналу в ЕП не повинен перевищувати 10 хвилин.

Значення гранично допустимого рівня напруженості ЕП встановлюється у 25 кВ/м. Знаходження в ЕП напруженістю більше 25 кВ/м без застосування засобів захисту не допускається.

Допустимий розрахунковий час перебування в ЕП напруженістю від 5 до 20 кВ/м включно вираховується залежно від рівнів, що нормуються. Розрахунок виконується по кожній зоні та сумується протягом робочої зміни. Час перебування в ЕП може бути реалізований одноразово або частками впродовж робочого дня. В решту робочого часу необхідно використовувати засоби захисту або знаходитись в ЕП напруженістю до 5 кВ/м.

Кількість зон, які контролюються, визначається перепадом рівнів напруженості ЕП на робочому місці. Перебування в зонах, які контролюються, з напруженістю ЕП від 5 до 25 кВ/м допускається за умов уникнення впливу на персонал електричних розрядів, а також за умов застосування захисного заземлення всіх ізольованих від землі пристроїв та оснастки, до яких можливе доторкання працівників. Наведений час не має перевищувати 8 годин.

Нижче, наведено послідовність та приклади розрахунку напруженості електричного поля та індукції магнітного поля ПЛ відповідно методики [9].

2.3. Розрахунок напруженості електричного поля ПЛ

Обчислення діючих значень напруженості електричного поля ПЛ виконують для площини, проведеної нормально до напрямку траси ПЛ через точку максимального наближення проводів до землі (як правило, всередині прогону), за таких умов:

- проводи ПЛ – система нескінченно довгих паралельних заряджених циліндрів, віддалених від землі на відстань, визначену проектними рішеннями, але не меншу унормованої в главі 2.5 ПУЕ:2006;
- ПЛ проектують з транспозицією проводів;
- будівлі і споруди, транспортні засоби, люди, тварини, дерева і чагарники не впливають на розподіл електричного поля ПЛ у просторі;
- блисковкозахисні троси в розрахунковій схемі не враховують;
- відносна діелектрична проникність повітря ϵ_r дорівнює одиниці.

Комплексну діючу напруженість електричного поля ПЛ у точці з координатами x і y на площині перетину (рис. 2.4) обчислюють як суму комплексних діючих напруженостей електричного поля, утворених кожним із k заряджених проводів $\dot{E}_k^{np}$ та їх дзеркальним зображенням $\dot{E}_k^{\partial z}$ у цій точці, за формулою:

$$\dot{E} = \sum_k \dot{E}_k^{np} + \sum_k \dot{E}_k^{\partial z} \quad (2.1)$$

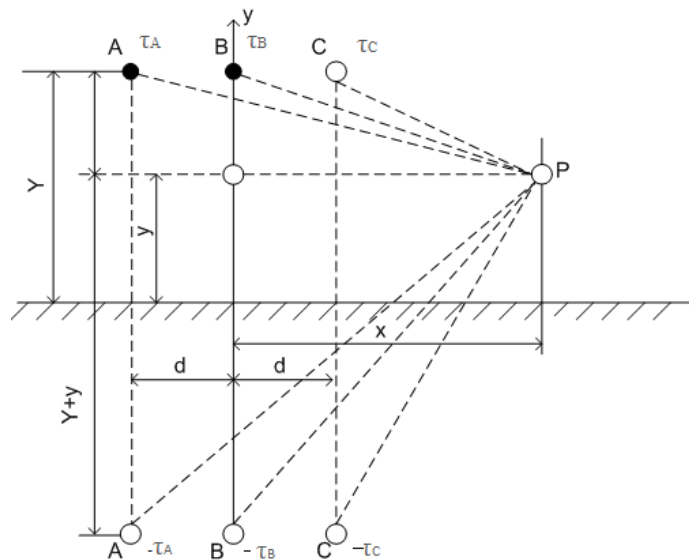


Рис. 2.4. Схема розташування проводів ПЛ

Комплексні діючі напруженості електричного поля кожного з k проводів ПЛ $\dot{E}_k^{np}$ у точці з координатами x і y на площині перетину обчислюють за формулою:

$$\dot{E}_k^{np}(x, y) = \frac{C \cdot \dot{U}_k}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \sqrt{(x - X_k^{np})^2 + (y - Y_k^{np})^2}} \cdot \exp(j \cdot \varphi_k), \quad (2.2)$$

де C – електрична ємність k -го проводу, Φ ; $\dot{U}_k$ – комплексна діюча фазна напруга k -го проводу, В; X_k^{np} , Y_k^{np} – координати сліду геометричної осі k -го проводу на площині перетину, м; φ_k – значення кута, у радіанах, яке обчислюється за виразом

$$\varphi_k = \arg[(x - X_k^{np}) + j \cdot (y - Y_k^{np})]$$

Комплексні діючі напруженості електричного поля дзеркальних зображень кожного з k проводів $\dot{E}_k^{\partial z}$ у точці з координатами x і y на площині перетину обчислюють за формулою:

$$\dot{E}_k^{\partial z}(x, y) = \frac{-C \cdot \dot{U}_k}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \sqrt{(x - X_k^{\partial z})^2 + (y - Y_k^{\partial z})^2}} \cdot \exp(j \cdot \psi_k), \quad (2.3)$$

де $X_k^{\partial z}$, $Y_k^{\partial z}$ – координати сліду геометричної осі дзеркального зображення k -го проводу на площині перетину, м; ψ_k – значення кута, у радіанах, яке обчислюють за формулою

$$\psi_k = \arg[(x - X_k^{\partial z}) + j \cdot (y - Y_k^{\partial z})].$$

Ємність проводу ПЛ з горизонтальним розташуванням проводів відносно землі обчислюють за формулою:

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}{\ln \left[\frac{2 \cdot H_c \cdot d}{r \cdot \sqrt[3]{(4 \cdot H_c^2 + d^2)} \cdot \sqrt{H_c^2 + d^2}} \right]}, \quad (2.4)$$

де d – відстань між проводами ПЛ, м; $H_c = H_{np} - \frac{2}{3}F$ – середня відстань від проводу до землі, м; H_{np} – висота підвішування проводу на стояку, м;

F – стріла провисання проводу в прогоні, м; r – радіус проводу, м.

У разі виконання умови $H_c \gg d$ ємність проводу ПЛ відносно землі обчислюють за формулою:

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}{\ln \left(\frac{d \cdot \sqrt[3]{2}}{r} \right)} \quad (2.5)$$

У випадку, коли відстані між проводами сусідніх фаз ПЛ (А і В, В і С, С і А) є неоднаковими і малими порівняно з H_c , ємність проводу ПЛ обчислюється за формулою:

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}{\ln \left(\frac{d_c}{r} \right)}, \quad (2.6)$$

де $d_c = \sqrt[3]{d_{AB} \cdot d_{BC} \cdot d_{CA}}$ – середньгеометрична відстань між проводами ПЛ, м;

d_{AB} , d_{BC} , d_{CA} – відстань між проводами фаз А, В і С, м.

При розрахунку напруженості електричного поля ПЛ з розщепленими проводами у виразах (2.4) – (2.6) використовують еквівалентний радіус r_e , який обчислюють за формулою:

$$r_e = p \cdot \sqrt[n]{r \cdot a^{n-1}}, \quad (2.7)$$

де a – крок розщеплення (відстань між проводами фаз), м; n – кількість проводів у фазі; p – коригувальний коефіцієнт.

Якщо $n=2$ або $n=3$, коригувальний коефіцієнт $p=1$, якщо $n>3$, коригувальний коефіцієнт $p=1,09$.

Приклад розрахунку

Визначемо напруженість електричного поля ПЛ 500 кВ на висоті $y=1,8$ м від поверхні землі в середині прогону. Проводи ПЛ розташовано горизонтально, відстані між осями фаз $d=10,5$ м; кількість проводів у фазі $n=3$; марка проводу – АСО-500; радіус проводу $r=0,0151$ м;

крок розщеплення $a=0,40$ м; висота підвішування проводу на стояку $H_{np} = 22$ м; габарит ПЛ $H_0=8,65$ м.

Середня висота підвішування проводу над землею

$$H_c = H_{np} - \frac{2}{3}(H_{np} - H_0) = 22 - \frac{2}{3}(22 - 8,65) = 13,1 \text{ м.}$$

Еквівалентний радіус фази ПЛ

$$r_e = p \cdot \sqrt[n]{r \cdot a^{n-1}} = 1 \cdot \sqrt[3]{0.0151 \cdot 0.4^{3-1}} = 0.134 \text{ м.}$$

Ємність фази ПЛ відносно землі

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}{\ln \left[\frac{2 \cdot H_c \cdot d}{r \cdot \sqrt[3]{(4 \cdot H_c^2 + d^2)} \cdot \sqrt{H_c^2 + d^2}} \right]} =$$

$$= \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 8.854 \cdot 10^{-12} \cdot 1}{\ln \left[\frac{2 \cdot 13.1 \cdot 10.5}{0.134 \cdot \sqrt[3]{(4 \cdot 13.1^2 + 10.5^2)} \cdot \sqrt{13.1^2 + 10.5^2}} \right]} = 12.48 \cdot 10^{-12} \text{ Ф.}$$

Комплексні діючі фазні напруги ПЛ

$$\dot{U}_A = \frac{500}{\sqrt{3}} \cdot e^{j \cdot 0} \text{ кВ}; \quad \dot{U}_B = \frac{500}{\sqrt{3}} \cdot e^{-j \cdot \frac{2\pi}{3}} \text{ кВ}; \quad \dot{U}_C = \frac{500}{\sqrt{3}} \cdot e^{j \cdot \frac{2\pi}{3}} \text{ кВ.}$$

Комплексні діючі напруженості електричного поля проводів ПЛ у точках з координатами: $x = 0, \pm 0,5 \dots \pm 20$ м; $y = 1,8$ м

$$\dot{E}_k^{np}(x, y) = \frac{C \cdot \dot{U}_k}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \sqrt{(x - X_k^{np})^2 + (y - Y_k^{np})^2}} \cdot \exp(j \cdot \varphi_k) \text{ кВ/м.}$$

Комплексні діючі напруженості електричного поля дзеркальних зображень проводів ПЛ у точках з координатами $x = 0, \pm 0,5 \dots \pm 20$ м; $y = 1,8$ м

$$\dot{E}_k^{np}(x, y) = \frac{C \cdot \dot{U}_k}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \sqrt{(x - X_k^{np})^2 + (y + Y_k^{np})^2}} \cdot \exp(j \cdot \psi_k) \text{ кВ/м.}$$

Графік розподілу діючого значення напруженості електричного поля ПЛ500 кВ всередині прогону на висоті 1,8 м від поверхні землі, побудований за результатами розрахунку, наведено на **рис. 2.5**.

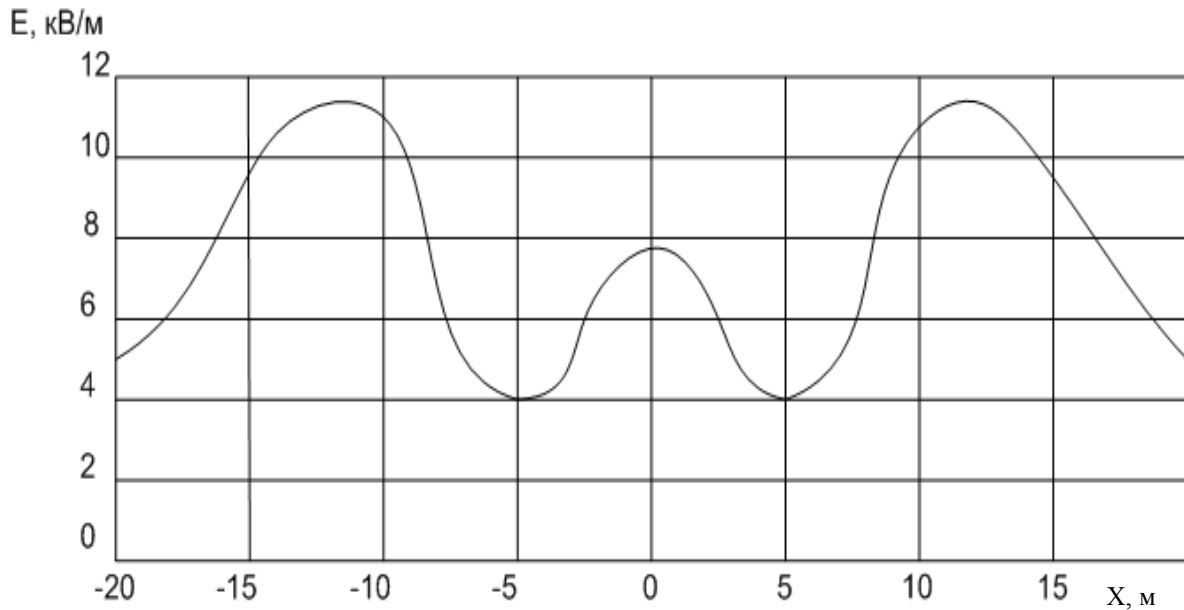


Рис. 2.5. Розподіл діючого значення напруженості електричного поля ПЛ 500 кВ на висоті $y = 1,8$ м над поверхнею землі всередині прогону

2.4. Розрахунок індукції магнітного поля ПЛ

Обчислення діючих значень магнітної індукції ПЛ виконується для площини, проведеної нормально до напрямку траси ПЛ через точку максимального наближення проводів до землі (як правило, всередині прогону), за таких умов:

- проводи ПЛ розглядаються як система нескінченно довгих паралельних проводів нескінченно малого діаметра зі струмами, які віддалені від землі на відстань, визначену проектними рішеннями, але не меншу унормованої в Главі 2.5 ПУЕ:2006;

- ПЛ проектується з транспозицією проводів;
- будівлі і споруди, транспортні засоби, люди, тварини, дерева і чагарники не впливають на розподіл магнітного поля ПЛ у просторі;
- блискавкозахисні троси в розрахунковій схемі не враховують;
- відносна магнітна проникність повітря μ_r дорівнює одиниці.

Комплексну діючу магнітну індукцію електромагнітного поля (ЕМП) ПЛ у точці з координатами x і y на площині перетину (рис. 2.6) обчислюють як суму комплексних діючих магнітних індукцій, утворених кожним із k струмів проводів ПЛ B_k^{np} у цій точці, за формулою:

$$B = \sum_k B_k^{np}, \quad (2.8)$$

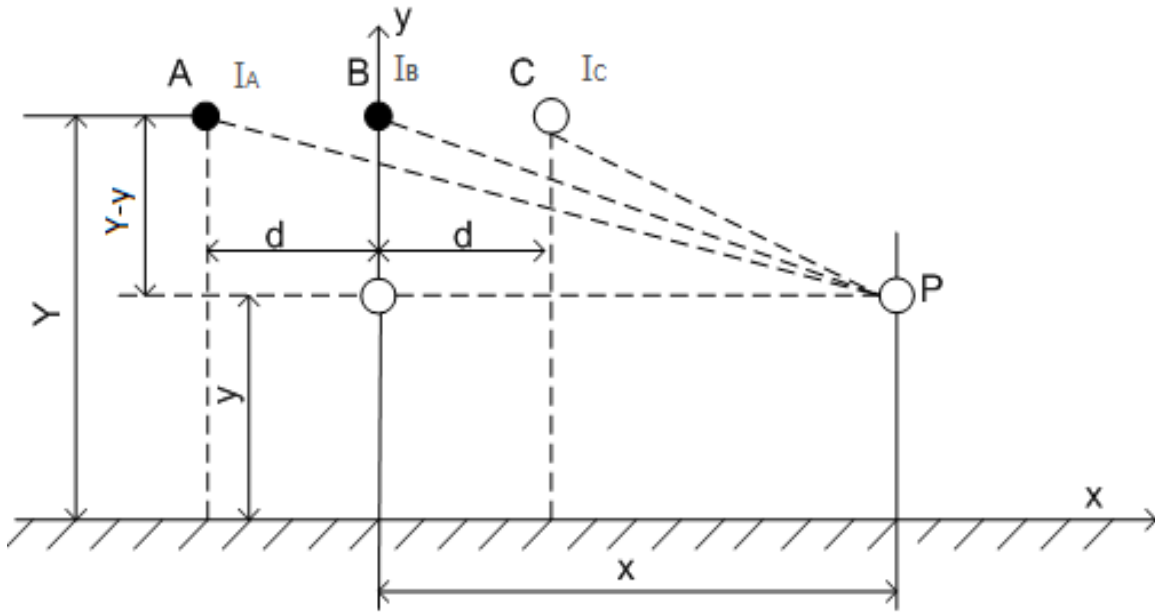


Рис. 2.6. Схема розташування проводів ПЛ

Комплексну діючу індукцію магнітного поля кожного з k проводів ПЛ B_k^{np} у точці з координатами x та y на площині перетину обчислюють за формулою:

$$\dot{B}_k^{np}(x, y) = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot \dot{I}_k}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(x - X_k^{np})^2 + (y - Y_k^{np})^2}} \cdot \exp \left[j \cdot \left(\varphi_k - \frac{\pi}{2} \right) \right], \quad (2.9)$$

де $\dot{I}_k$ – комплексний діючий лінійний струм k -го проводу, А; X_k^{np} , Y_k^{np} – координати сліду геометричної осі k -го проводу на площині перетину, м; φ_k – значення кута, у радіанах, яке обчислюють за формулою:

$$\varphi_k = \arg[(x - X_k^{np}) + j \cdot (y - Y_k^{np})] \quad (2.10)$$

Приклад розрахунку

Розрахуємо магнітну індукцію, утворену ПЛ 500 кВ на висоті $y = 1,8$ м від поверхні землі всередині прогону. Проводи ПЛ розташовано горизонтально; відстань між осями фаз $d = 10,5$ м; кількість проводів у фазі $n = 3$; марка проводу – АСО-500; радіус проводу $r = 0,0151$ м; крок розщеплення $a = 0,40$ м; висота підвішування проводу на стояку $H_{np} = 22$ м; габарит ПЛ $H_0 = 8,65$ м; максимальна потужність, що передається по ПЛ $S_{max} = 800$ МВА.

Діюче значення струму фази ПЛ за максимальної потужності

$$I_{\phi} = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{800 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 500} = 924 \text{ А.}$$

Діюче значення струму в проводі фази ПЛ

$$I_n = \frac{I_{\phi}}{n} = \frac{924}{3} = 308 \text{ А.}$$

Струми в проводах фаз ПЛ

$$\dot{I}_A = 308 \cdot e^{j \cdot 0} \text{ А; } \dot{I}_B = 308 \cdot e^{-j \cdot \frac{2\pi}{3}} \text{ А; } \dot{I}_C = 308 \cdot e^{j \cdot \frac{2\pi}{3}} \text{ А.}$$

Комплексні діючі магнітні індукції, утворені струмом кожного з проводів, обчислюють за формулою

$$\dot{B}_k^{np}(x, y) = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot \dot{I}_k}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(x - X_k^{np})^2 + (y - Y_k^{np})^2}} \cdot \exp \left[j \cdot \left(\varphi_k - \frac{\pi}{2} \right) \right].$$

Подальші розрахунки виконуються аналогічно наведеним у попередньому прикладі.

Графік розподілу діючого значення магнітної індукції, утвореної струмами ПЛ 500 кВ всередині прогону на висоті 1,8 м від поверхні землі, побудований за результатами розрахунку, наведено на **рис. 2.7**.

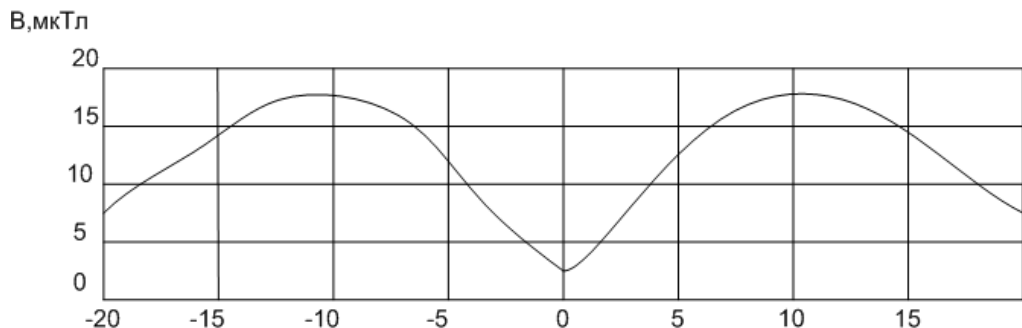


Рис. 2.7. Розподіл діючого значення магнітної індукції ПЛ 500 кВ на висоті 1,8 м від поверхні землі в середині прогону

2.5. Основні організаційні заходи проведення робіт під напругою

Упровадження проведення ремонтних робіт під робочою напругою у широку практику експлуатації потребує не тільки суто технічних заходів, до яких слід віднести освоєння технології виконання робіт, придбання устаткування, пристосування існуючих електроустановок до нового виду обслуговування тощо, але також вимагає здійснення низки організаційних заходів.

Насамперед, було необхідно обґрунтувати необхідність запровадження робіт ПРН та довести їх ефективність не тільки теоретично, а і практично, донести це до свідомості кожного співробітника з персоналу всіх рівнів – від керівників до безпосередніх виконавців. Проведення таких робіт здійснювалось як у провідних країнах світу, так і в Україні практично з середини минулого століття і надалі набувало все більшого поширення. Особливо активно втілювалися роботи ПРН у тих випадках, де без цього практично не можна було обійтись. Згодом у більшості країн це стало зрозумілим і набуло гасла: «Навіщо відключати, коли це можна зробити без відключення», тим паче, що здебільшого безпечність проведення робіт під напругою виявлялася більш високого ступеня, ніж за умов виконання тих самих робіт, але зі зняттям напруги.

Таким чином, головними завданнями щодо організаційних заходів є:

- розроблення технологій робіт і правил безпеки;
- забезпечення безпеки проведення робіт ПРН у разі дотримання технології робіт і правил техніки безпеки;
- організація системи навчання персоналу;
- організація системи контролю за правильним виконанням робіт як поодиноким працівником, так і бригадою, підприємством, галуззю.

Докладніше розглянемо проблеми організації проведення робіт ПРН із застосуванням найпоширеніших методів – рукавичного та штангового, приділивши особливу увагу досвіду країн, підприємства яких давно застосовують роботи ПРН (Франція, Канада, США), а також країн, у яких ці методи застосовується порівняно недавно (Україна, Угорщина, Португалія, Іспанія, Великобританія й ін.).

Загальний вид обслуговування ПЛ під робочою напругою із застосуванням рукавичного методу наведено на **рис. 2.8**.



Рис. 2.8. Загальний вид обслуговування ПЛ під робочою напругою із застосуванням рукавичного методу

Загальний вид обслуговування ПЛ під робочою напругою із застосуванням штангового методу наведено на **рис. 2.9**.

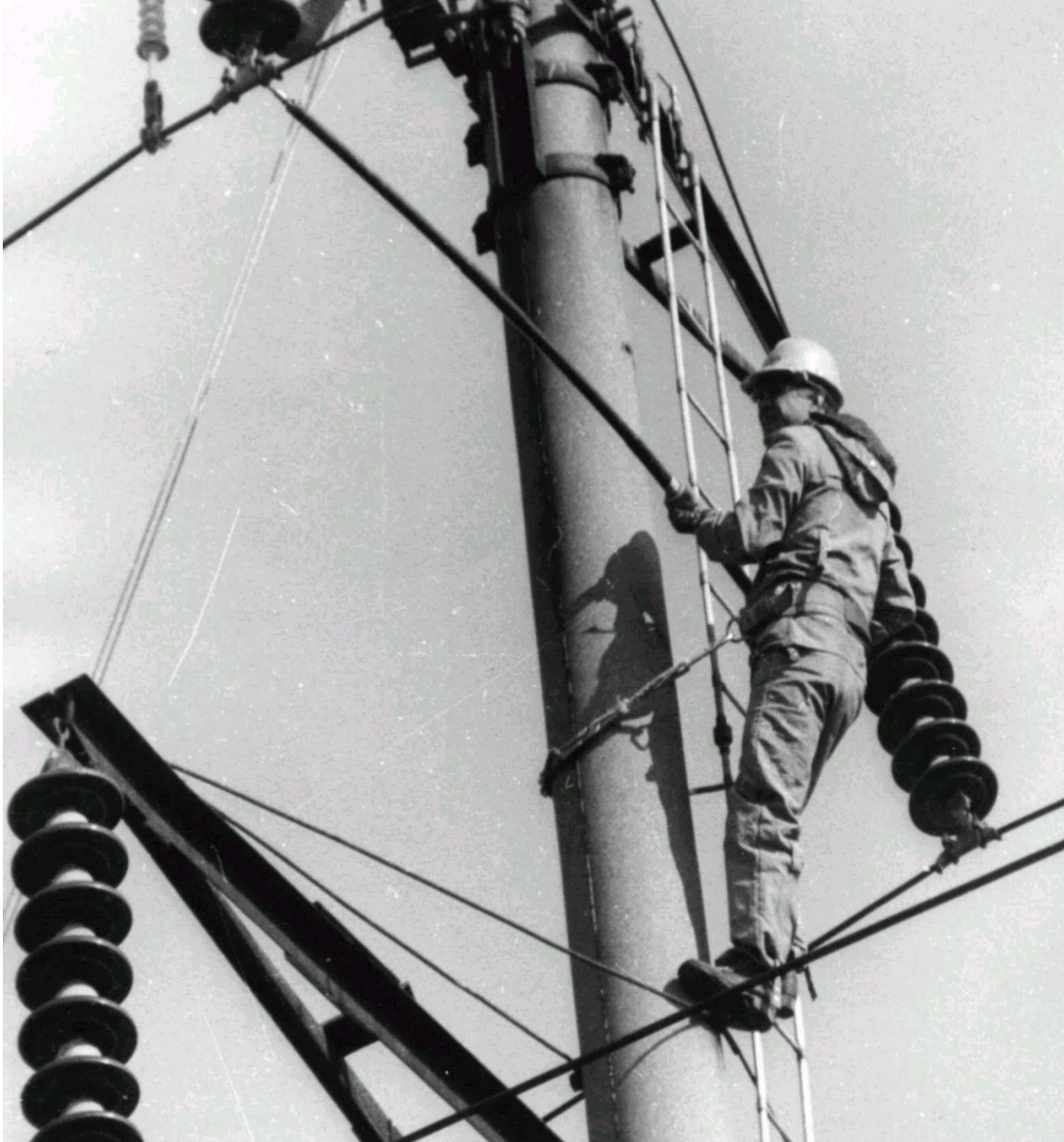


Рис. 2.9. Загальний вид обслуговування ПЛ під робочою напругою із застосуванням штангового методу

Спочатку розглянемо загальні організаційні заходи. Відомо, що діяльність оперативного і ремонтного персоналу енергосистем належить до праці з високим рівнем ризику для життя. Тому системою організаційно-технічних і виховних заходів, а також комплексом відповідних правил та інструкцій забезпечується висока гарантія безпеки праці під час обслуговування електроустановок.

Чинні нормативи [1, 2] передбачають виконання не тільки мінімальної кількості технічно необхідних заходів, але і деяких надлишкових. Останні мають на меті запобігти наслідку помилок людей або відмов устаткування (наприклад, перевірка відсутності напруги після відключення електроустановки перед накладенням заземлення).

Аналіз причин аварійності та травматизму показує, що здебільшого помилки відбуваються у разі порушення послідовності операцій, невиконання деяких з них, недотримання вимог техніки безпеки під час дій персоналу в нормальних ситуаціях.

Під час проведення робіт в електроустановках ураження персоналу відбувалося, як правило, не через те, що він працював під напругою чи зі зняттям напруги, а через те, що людина, допускаючи роботу на відключеній електроустановці, наближалася на неприпустимо малу відстань до струмопровідних частин, що перебували під напругою (через попадання на сусідні установки, через помилкову подачу напруги та інше).

Під час виконання робіт зі зняттям напруги безпека персоналу залежить не тільки від правильних дій осіб, що безпосередньо беруть участь у виконанні роботи, але і значною мірою від правильності та погодженості дій широкого кола працівників, зайнятих підготовкою робочого місця. Досить часто травмування оперативно-ремонтного персоналу відбувається безпосередньо під час виконання операцій з підготовки робочого місця: виконання оперативних перемикань, перевірка відсутності напруги, накладення заземлень.

Під час виконання робіт ПРН звужується коло осіб, безпосередньо зайнятих підготовкою робочого місця, спрощуються операції підготовки. Персонал, усвідомлюючи особливу відповідальність роботи, діє більш уважно й організовано, під час підготовки до роботи звертає особливу увагу на достатність заходів безпеки і справний стан засобів захисту від ураження електричним струмом.

Таким чином, щодо комплексу організаційних заходів виконання робіт ПРН не більш небезпечно, ніж робота зі зняттям напруги, що підтверджується досвідом таких робіт на теренах колишнього СРСР та в інших країнах.

Статистичні дані щодо кількості нещасних випадків на 1000 працюючих за умов праці під напругою або зі зняттям напруги наведено на **рис. 2.10**, а розподіл нещасних випадків за причинами їх створення наведено в **табл. 2.3**.

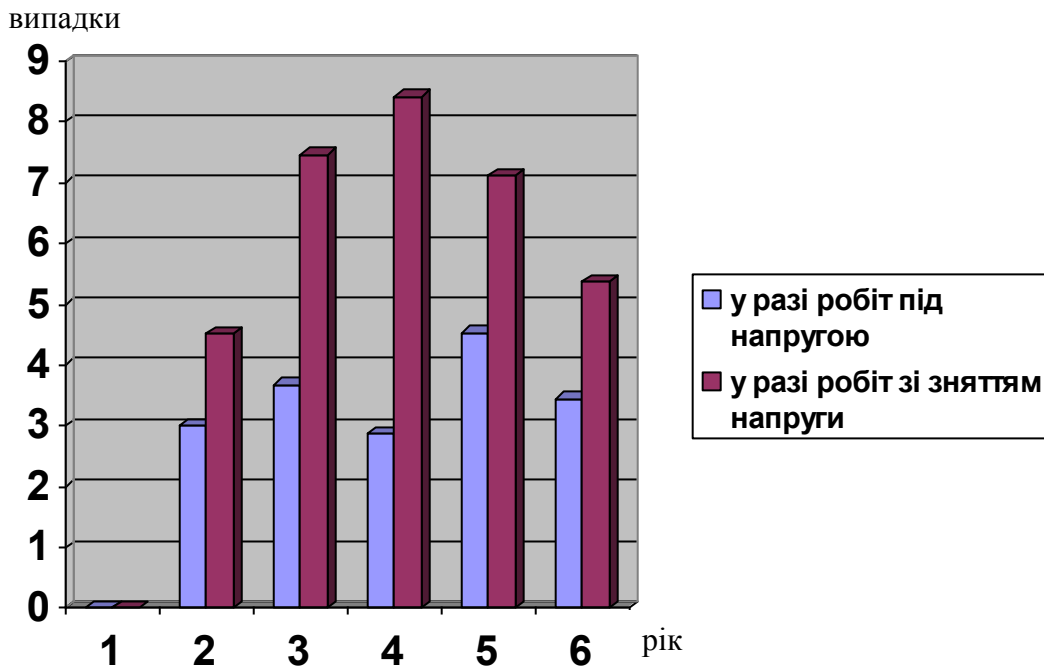


Рис. 2.10. Статистичні дані щодо кількості нещасних випадків на 1000 працюючих за умов праці під напругою або зі зняттям напруги

Таблиця 2.3. Розподіл нещасних випадків за причинами їх створення, %

Причина виникнення випадку	Роки спостереження					
	1	2	3	4	5	6
Дефекти засобів захисту	26,8	29,6	19,9	22,7	43,6	66,4
Недоліки ізоляції місця виконання робіт	11,7	-	8,7	13,7	10,0	8,4
Пошкодження інструментів	10,5	11,3	4,6	13,7	20,0	2,5
Недоліки організації робіт	2,6	13,7	23,2	22,7	20,0	14,3
Порушення правил і методів виконання робіт	33,3	37,6	25,8	-	3,6	0,9
Неакуратність і помилки	11,8	2,2	6,6	6,8	-	1,7
Пошкодження у мережі	3,3	3,6	11,2	20,4	2,7	5,8

Дані отримано в результаті оброблення статистичної інформації з десяти країн, у яких протягом 6 років велися спеціальні спостереження за роботами, що виконувались як традиційними методами (зі зняттям напруги з об'єкта ремонту), так і методом проведення робіт ПРН.

Слід зазначити, що ілюзія цілковитої безпеки виконання робіт ПРН є провокуючим моментом до навмисного застосування небезпечних способів виконання робіт. Тому роботи ПРН мають виконуватися з дотриманням правил безпеки, інструкцій із проведення робіт ПРН і обов'язковим здійсненням таких організаційних заходів:

- призначення осіб, відповідальних за безпечне ведення робіт;
- видача наряду;
- видача дозволу на підготовку робочого місця і допуск до роботи;
- підготовка робочого місця і допуск, нагляд під час виконання роботи;
- оформлення переведень на інше робоче місце, перерви в роботі та її

закінчення.

До робіт ПРН допускається персонал, який пройшов спеціальну підготовку. Навчання електромонтерів та інженерно-технічних працівників, відповідальних за безпечне ведення робіт, здійснюється в спеціальних центрах підготовки персоналу. До програми навчання входять теоретичний курс і практичне відпрацювання методів роботи за умов, максимально наближених до реальних, з обов'язковим виконанням робіт на струмопровідних частинах, що перебувають під цією робочою напругою.

2.6. Умови безпечного проведення робіт під напругою

Проведення в електроустановках робіт під напругою дозволяється виконувати тільки за визначених кліматичних умов, що забезпечують можливість їх безпечного провадження.

Заборона 1

Не дозволяється працювати під напругою в разі дощу, туману, снігопаду або підвищення відносної вологості повітря понад 90 %. Це спричинене тим, що у разі зволоження знижується електрична міцність гірлянд ізоляторів та ізолюючих пристосувань, застосовуваних під час ПРН. Якщо в процесі роботи погодні умови погіршуються, ПРН необхідно припиняти. При цьому слід демонтувати оснащення і пристосування з опори, а персонал відвести з місця робіт. У разі різкого погіршення погодних умов, наприклад, несподіваних опадів у вигляді дощу або мокрого снігу, допускається залишати пристосування на опорах, у тому числі і під напругою, а персонал слід відвести від опори чи металоконструкцій відкритого розподільного пристрою.

Заборона 2

Забороняється проводити роботи під напругою в разі грози або сильного вітру. Це спричинене тим, що грозові перенапруги можуть привести до перекриттів ізоляції в місцях проведення робіт, а сильний вітер – до зниження ізоляційних відстаней між проводом і стояком опори через відхилення гірлянд ізоляторів. Крім того, під час вітру значно ускладнюється виконання робіт на висоті та підвищується небезпека під час їх виконання.

Щодо спостереження за можливою загрозою грозових впливів, як і взагалі, контроль за грозовою діяльністю зобов'язані вести диспетчерські служби підприємств і районів електричних мереж, а також керівники і виконавці робіт. Для цього доцільно застосовувати індикатори наближення грози.

Роботи в умовах вітрового навантаження

Проводити роботи ПРН дозволяється за умов, коли швидкість вітру не перевищуватиме 10 м/с. З цією метою кожна бригада повинна бути оснащена приладами для визначення відносної вологості повітря і швидкості вітру безпосередньо на місці робіт. Зазвичай для цього використовують анемометри і гігрометри.

Заходи щодо зниження перенапруг

Забезпечення безпечних умов проведення робіт ПРН на ПЛ необхідно готувати ще до початку цих робіт. Для цього слід здійснювати режимні заходи, призначені для зниження ймовірності виникнення небезпечних перенапруг. Одним із таких заходів є зниження робочої напруги на лінії до припустимих значень. З метою унеможливлення випадків автоматичного повторного включення ПЛ після її автоматичного відключення від дії захисних пристроїв усі види пристроїв автоматичного повторного вмикання (АПВ) повинні бути виведені. Усі наявні засоби обмеження перенапруг, а також захисту з мінімальними уставками за часом відключення потрібно ввести в роботу. Крім того, у деяких випадках використовується ще один додатковий захід. Він передбачає (з метою виключення перекриття ізоляції в місці робіт) застосування примусового шунтування частини ізоляторів у гірлянді на сусідніх опорах, знижуючи в такий спосіб електричну міцність ізоляції до рівня, за якого у разі виникнення перенапруг відбувається перекриття в місці установки пристроїв шунтування. Необхідність такого засобу та способи його виконання визначаються спеціальними рішеннями.

Особливості повторного вмикання

Бувають випадки, коли в процесі робіт ПРН відбудеться відключення ПЛ від захистів і її необхідно увімкнути. Особливість процедури вмикання полягає в тому, що включення ПЛ можна робити тільки після узгодження з керівниками робіт усіх бригад, допущених на ПЛ для робіт ПРН. Для цього на ключах керування підстанцій і електростанцій на ПЛ, де ведуться роботи ПРН, повинні бути вивішені плакати «Не включати без дозволу керівника ПРН». Для прискорення виконання такого узгодження всі бригади повинні бути оснащені засобами зв'язку з диспетчерськими службами (зазвичай радіозв'язок застосовується у разі виконання робіт на ПЛ, а канали диспетчерського зв'язку – у разі проведення робіт ПРН на підстанціях).

Заходи з надання невідкладної медичної допомоги

У разі коли електромонтеру, який перебуває під робочою напругою, необхідно надати невідкладну медичну допомогу, перш за все, за вимогою керівника роботами ПЛ необхідно негайно відключити. Для ПЛ напругою 0,4 кВ це відключення можуть здійснити члени бригади за допомогою комутаційного апарата (якщо він знаходиться поблизу), або шляхом накиду на проводи ПЛ гнучкого проводу перетином 16 мм² (іноді накид можна використовувати також для відключення ПЛ 10 – 35 кВ). На ПЛ вище 1000 В для надання допомоги передбачено спеціальні пристосування та відповідні технології. Щодо конкретного виконання відключення та способу, яким це може бути здійснено, а також за якою саме командою і від кого вона може бути подана, то всі ці заходи мають бути чітко пояснені виконавцем робіт під час інструктажу бригади.

2.7. Вимоги до персоналу, який готує і виконує роботи ПРН

Перш ніж приступити до ремонтів під напругою в електроустановках, необхідно підготувати відповідний персонал. Як правило, на підприємстві електричних мереж методів ПРН повинні бути навчені інженерно-технічний персонал (головний інженер і його заступник, начальник служби високовольтних ліній, начальник району електричних мереж, старші майстри, майстри), бригади електромонтерів, а також оперативний персонал. Навчання персоналу методів робіт під напругою здійснюється на дослідно-експериментальному підприємстві з виконання робіт на лініях електропередачі без зняття напруги, що здійснює функції Всеукраїнського (раніше – всесоюзного) центру ПРН, а також у регіональних центрах впровадження робіт ПРН. Централізована система підготовки і перепідготовки персоналу для ведення робіт ПРН застосовується також і в закордонних країнах – в Угорщині, Німеччині, Франції та ін.

Центр з впровадження робіт ПРН в Україні готує три категорії працівників. Це, перш за все керівники робіт ПРН та члени бригади, що виконують роботи під напругою. Крім того, на кожному підприємстві, де проводяться роботи під напругою, необхідно провести відповідну підготовку оперативного персоналу.

Керівник з проведення робіт під робочою напругою

Керівником робіт ПРН може бути інженерно-технічний працівник підприємства електричних мереж, виробничого енергетичного об'єднання чи районного енергетичного управління, який має стаж роботи з експлуатації електроустановок не менше 3 років, п'яту кваліфікаційну групу з техніки безпеки, пройшов підготовку й успішно склав іспити з правил виконання робіт. Інженерно-технічний працівник, допущений до керівництва роботами ПРН, одержує спеціальний вкладиш до «Посвідчення з перевірки знань з технічної експлуатації та техніки безпеки». Керівник робіт ПРН зобов'язаний щорічно проходити додаткову перепідготовку і перевірку знань правил виконання робіт. Такі вимоги визначаються, по-перше, великою відповідальністю, що покладається на цю особу в процесі виконання робіт, і, по-друге, необхідністю постійного удосконалювання його знань у зв'язку зі зміною технологій і методів проведення робіт під напругою, підготовкою і впровадженням нових способів виконання робіт.

Із числа керівників робіт ПРН розпорядженням по підприємству електричних мереж мають бути призначені особи, що мають право видачі нарядів на виконання робіт ПРН. Усі роботи в електроустановках під напругою виконуються тільки за нарядом, у якому визначаються місце, час, умови виконання робіт, склад бригади. Особливістю робіт ПРН у мережах середньої і високої напруги є обов'язкове керівництво роботами з боку керівника робіт ПРН, про що зазначається в наряді. До наряду додається типова технологічна карта на виконання робіт, а у разі робіт на нетипових опорах у місцях перетинань зі спорудженнями й іншими ПЛ у важкодоступній місцевості необхідно видавати проект виконання робіт, підписаний керівником робіт і особою, що видала наряд.

Керівник робіт ПРН, як правило, зобов'язаний до початку робіт відвідати місце їх виконання робіт і врахувати всі особливості, пов'язані з конкретною роботою: рельєф місцевості, інші спорудження (у тому числі ПЛ), які розташовані поруч або перетинають ремонтвану лінію. Особливу увагу необхідно приділяти оцінці можливих змін відстаней від проводів до землі, що зменшуються в разі переміщення по проводах через їх додаткове провисання, а також можливості та способи подолання наземних перешкод (ярів, струмків і т.ін.).

На місці робіт в електроустановках напругою вище 1000 В керівник робіт ПРН одночасно є особою, що здійснює допуск до виконання робіт. Тільки керівник робіт ПРН має право прийняти рішення про можливість виконання робіт у кожному конкретному випадку. Для цього він зобов'язаний ретельно оглянути стан інструменту і пристосувань, визначити їх відповідність правилам і вимогам. Оцінюються метеорологічні умови і визначається можливість виконання роботи. Безпосередньо перед початком роботи варто уважно оглянути спорудження (лінії електропередачі, розподільний пристрій). Це робиться з метою виявлення можливих ушкоджень, що могли відбутися за період з моменту підготовки наряду до безпосереднього приїзду до місця роботи. Особливо ретельно слід оглядати гірлянди ізоляторів, визначити їх механічну міцність і кількість ушкоджених ізоляторів. Для гірлянд із порцеляновими ізоляторами технологічні карти і проект виконання робіт повинні передбачати перевірку цілісності ізоляторів. За необхідності пересування по проводах їх оглядають у всіх прогонах, де передбачений вихід на ці проводи.

Керівник робіт ПРН до початку робіт особливу увагу повинен приділити питанню оцінки стану бригади. При цьому інструктаж рекомендується проводити у вигляді співбесіди й обговорення. Це робиться для того, щоб кожен член бригади зрозумів своє завдання. Керівник робіт ПРН зобов'язаний опитати кожного члена бригади і з'ясувати його готовність до виконання робіт.

Тільки переконавшись у готовності та можливості проведення робіт ПРН, керівник запитує дозвіл на виконання робіт у диспетчера, в оперативному керуванні якого перебуває лінія електропередачі або розподільний пристрій. Лише після одержання дозволу диспетчера керівник допускає бригаду до робіт ПРН.

Керівник з проведення робіт ПРН зобов'язаний припинити роботи в разі порушення членами бригади порядку виконання робіт, правил техніки безпеки, появи несправностей технологічного оснащення, інструменту чи елементів ПЛ і відкритих розподільних установок, що знижують їхню надійність (тріщини на ізоляторах, ушкодження жил на проводах чи тросах, порушення зварених з'єднань металоконструкцій опор тощо). Поновлення робіт дозволяється тільки після усунення виявлених зауважень і проведення повторного інструктажу членам бригади. Якщо роботи в цей день не відновлялися, то допуск бригади в наступні дні проводиться на загальних підставах з оформленням нового наряду.

У разі відключення лінії керівник робіт ПРН зобов'язаний негайно призупинити роботи і зв'язатися з диспетчером для з'ясування причини відключення та визначення порядку дальших дій. Керівник має чітко знати технологічну послідовність виконання робіт і забезпечити ретельність їх виконання, виявляти необхідну вимогливість і наполегливість.

Під час робіт, виконуваних декількома бригадами на одній лінії електропередачі, доцільно мати додатково **керівника – координатора**. Допуск бригад і здійснення керівництва їхньою роботою залишається й у цьому разі за керівниками бригад. Загальний керівник робіт – координатор забезпечує додатковий контроль і зв'язок між бригадами. При цьому доцільно координувати розподіл фаз, на яких перебувають різні бригади. У разі використання попереднього ослаблення ізоляції в окремих точках лінії для захисту від перенапруг доцільно роботи організовувати так, щоб усі бригади працювали на одній якійсь фазі з одночасним переходом на інші фази.

У деяких випадках під час робіт ПРН додатково може бути призначено **помічника керівника**, наприклад, за необхідності вести роботи в суміжних від опори прогонах. Помічником керівника можна призначати інженерно-технічного працівника, що має право керівника. У цьому разі керівник з проведення робіт ПРН, виконавши всі роботи з інструктажу і допуску до роботи всієї бригади, дозволяє нагляд і керівництво частиною бригади в сусідньому прогоні помічнику керівника, що має усі права і відповідальність керівника. Призначення помічника керівника і його участь у роботі визначається в наряді.

Для підготовки на посаду керівника з проведення робіт ПРН на підприємствах потрібно добирати найбільш освічених, ініціативних та дисциплінованих інженерно-технічних працівників.

Бригади з проведення робіт ПРН

Членами бригади, що виконує роботи ПРН в електроустановках високої напруги, мають право бути особи, що пройшли спеціальну підготовку у Всеукраїнському центрі робіт ПРН, склали іспити і одержали спеціальний вкладиш до «Посвідчення з перевірки знань техніки безпеки». Всеукраїнський центр робіт ПРН готує електромонтерів категорій «В» і «Н» (верхівковий і низовий).

Електромонтер категорії «В» має право виконувати роботи на опорі чи металоконструкції, а також здійснювати роботи під напругою. Електромонтер категорії «Н» – це допоміжний робітник, що виконує роботи без підйому на опору чи металоконструкцію з підйомом не вище 3 м від землі.

До відправлення на підготовку в Центр робіт ПРН усі члени бригади повинні пройти медичний огляд. Для підготовки на категорію «В» необхідно мати не нижче четвертої кваліфікаційної групи і стаж роботи на діючих електроустановках не менше 3 років. Для категорії «Н» необхідна третя кваліфікаційна група і стаж роботи в діючих електроустановках не менше 1 року.

Для проведення робіт ПРН добирають дисциплінованих і досвідчених працівників, що викликано необхідністю дотримання високої дисципліни праці технологій виконання робіт. До робіт ПРН не допускаються особи молодші за 18 років і жінки.

У кожній бригаді для забезпечення виконання усіх видів робіт в електроустановках напругою вище 1000 В має бути підготовлено не менш трьох електромонтерів категорії «В». Будь-який вихід на потенціал проводу не може організовуватися і проводитися в разі наявності в бригаді менше двох електромонтерів категорії «В». Ця вимога викликана необхідністю забезпечення постійної готовності бригади як за технологією виконання робіт, так і щодо складу бригади до надання необхідної допомоги електромонтеру, що перебуває під напругою. Практика проведення в Україні великих обсягів робіт під напругою на ПЛ 220 – 750 кВ жодного разу не виявила необхідності в наданні такої допомоги. Однак для створення психологічної впевненості технологічні схеми виконання робіт з виходом на потенціал проводу, розроблювані Всеукраїнським центром ПРН, передбачають засоби і способи надання такої допомоги, незалежно від того, де перебуває електромонтер: на проводі біля опори чи всередині прогону.

У кожній бригаді зі складу електромонтерів категорії «В» повинний призначатися **виконувач робіт (виконроб)**, який повинен перебувати на опорі чи на потенціалі проводу та здійснювати виконання найбільш відповідальних операцій, координуючи взаємодію всіх членів бригади. Він підлеглий керівнику робіт і одержує від нього дозвіл на виконання окремих операцій, керуючи при цьому членами бригади, що знаходяться на опорі. У разі необхідності, за умовами виконання робіт, передати розпорядження низовим членам бригади, що перебувають біля опори в безпосередній близькості від керівника робіт, виконроб може через керівника. Схема взаємодії між керівником, виконробом і членами бригади повинна бути чітко обговорена і неухильно дотримуватися.

Усі члени бригади зобов'язані беззастережно виконувати розпорядження керівника і виконроба за винятком випадків, що загрожують життю людей або цілісності механізмів, пристосувань чи устаткування.

В електроустановках напругою 0,4 кВ роботи ПРН виконують особи ремонтного й оперативно-ремонтного персоналу, що пройшли теоретичну і практичну підготовку. Бригада, що виконує роботи, складається не менш як 2 людини, у тому числі: виконувач робіт, що має не нижче четвертої кваліфікаційної групи з техніки безпеки і стаж роботи в електроустановках не менше 3 років; член бригади – електромонтер чи електромонтер-шофер, що має не нижче третьої кваліфікаційної групи з техніки безпеки і стаж роботи в електроустановках не менш одного року. Якщо в процесі роботи використовуються спеціальні механізми, бригада повинна складатися не менш як з 3 чоловік. До складу бригади входить електромонтер-шофер, що має не нижче третьої кваліфікаційної групи з техніки безпеки.

Кількісний склад бригади визначають для кожного виду робіт технологічною картою. Під час підготовки персоналу у Всеукраїнському центрі робіт ПРН електромонтер, що має четверту кваліфікаційну групу з техніки безпеки, може одержати категорію «В» і право виконувати роботи з підйомом до верху опори на проводах, що перебувають під напругою. Електромонтери, що мають третю кваліфікаційну групу, одержують категорію «Н» і мають право під час проведення робіт під напругою виконувати низові роботи з підйомом не вище 3 м від рівня землі. Електромонтери-шофери мають право виконувати керування спеціальними механізмами під час робіт під напругою й одержують категорію «Н». Після складання іспитів усі особи одержують вкладиш у посвідчення з перевірки знань з техніки безпеки установленого зразка.

Оперативний персонал

Крім керівників з робіт ПРН і членів бригади, на кожному підприємстві, де проводяться роботи під напругою, необхідно провести відповідну підготовку оперативного персоналу.

Видаючи дозвіл на допуск бригад, оперативний персонал зобов'язаний відповідним чином готувати електроустановки для можливості ремонту їх під напругою. Для цього оперативний персонал має знати принципи робіт ПРН.

Основне завдання оперативного персоналу полягає в створенні умов, що унеможливають або зменшують перенапруги в мережі, які можуть призвести до перекриття ізоляції в місці виконання робіт. Це може бути досягнуто зниженням робочої напруги до мінімально допустимих за режимом значень на лінії або розподільній установці, виведенням з роботи пофазного керування й автоматичних пристроїв повторного вмикання, включенням у роботу засобів захисту від перенапруг і т. ін. Для кожної лінії і розподільного пристрою слід визначити заходи, необхідні для забезпечення безпеки виконання робіт. Ці заходи зазначаються в наряді особою, що його видає. Дозвіл на допуск бригади до роботи видається тільки після здійснення цих режимних заходів.

Оперативний персонал, що видає дозвіл на допуск до робіт ПРН, повинен чітко розуміти, що повторне включення автоматично відключених від захистів ПЛ чи розподільних пристроїв, де проводяться роботи, може бути зроблено тільки за узгодженням з керівником робіт ПРН, який здійснює керівництво бригадою (на ПЛ 0,4 кВ за узгодженням з виконувачем робіт). Якщо на одній лінії працює декілька бригад, повторне включення виконується за узгодженням із усіма керівниками робіт. Для цієї мети всі бригади повинні мати постійний зв'язок з диспетчерськими службами підприємств електричних мереж енергооб'єднань. Допускається здійснення зв'язку з передачею команд через персонал підстанцій або районів електричних мереж. При цьому черговий персонал цих підстанцій або районів зобов'язаний фіксувати тексти переговорів в оперативних журналах.

Дозвіл на допуск бригад до роботи в електричних мережах 0,4 кВ видається диспетчером району чи ділянки електричних мереж. При цьому черговий диспетчер зобов'язаний вести облік працюючих бригад.

Видаючи дозвіл на допуск бригади, оперативний персонал зобов'язаний попередити виконавця робіт про стан електричної мережі в районі, де мають бути роботи, про заплановані переключення і т. ін. Допуск бригади на місці робіт здійснює виконувач робіт. Робота повинна виконуватися за нарядом. Виконувач робіт ретельно оглядає місце й умови проведення майбутніх робіт, а потім проводить інструктаж бригади. У процесі інструктажу визначається чітка послідовність виконання робіт і порядок передачі розпоряджень. Шляхом опитування і співбесіди визначається розуміння членами бригади своїх завдань у процесі роботи.

На кожному підприємстві мають складатися списки осіб, відповідальних за виконання робіт ПРН, за збереження та випробування необхідного інструмента, пристосувань і захисних засобів. Ці списки щорічно переглядаються і затверджуються головними інженерами підприємств.

Дотримання правил безпеки є першорядним чинником під час виконання робіт ПРН незалежно від обраного методу виконання цих робіт. До деякого часу, а у деякого і понині, закріпилася думка, що роботи, які виконуються під напругою, більш небезпечні, аніж роботи на знеструмленому устаткуванні. Насправді ж ті підприємства, що виконують роботи під напругою, особливо якщо вони використовують рукавичний метод робіт, мають надзвичайно високоякісні показники безпеки. Це обумовлено тим, що всі роботи ретельно плануються і виконуються з точним дотриманням правил і технологій. Це не означає, що нещасних випадків не буває. Однак аналіз їх причин показує, що майже всі інциденти, у тому числі зі смертельними наслідками, могли б бути відвернені в разі правильного підбору захисних засобів, належного навчання лінійників і обов'язкового дотримання правил виконання робіт і правил безпеки.

Статистика нещасних випадків, зібрана Міжнародним союзом електриків [11] свідчить, що щорічно вони розподіляються таким чином:

30 % – лінійники не використовували індивідуальні засоби захисту;

29 % – лінійники неправильно закривали частини, що перебувають під напругою;

14 % – лінійники не дотримувались установленної технології робіт;

7 % – лінійники працювали на знеструмлених ділянках без установлення необхідних тимчасових заземлень;

14 % - інші випадки (не використовувались страхувальні пояси, стріла підйомника торкалась проводів тощо).

З наведеного випливає, що основна причина інцидентів – недостатнє навчання, а не те, що лінія була під напругою.

З досвіду проведення ремонтних робіт під напругою встановлено, що для забезпечення безпеки лінійника (протягом всієї його кар'єри) одноразового навчання недостатньо. Досвід свідчить, що лінійник, навчання якого відбулось у недавньому минулому, розсудливо оцінює стан і наявність високої напруги, правила безпеки, технологію, але через декілька років потому він стає більш байдужим до небезпеки у своїй роботі. Тому періодичні тренування, професійна атестація, навчання на новому обладнанні та вивчення нових технологій мають показати лінійнику недостатність опанованих їм навичок гарантування безпечного проведення робіт, усвідомлення небезпеки і необхідність правильного використання захисних засобів. Це підтверджується тим, що середній вік уражених електричним струмом лінійників становить 36 років, причому 74 % усіх електротравм відбулися в групах віком 30–39 і 40–49 років (**рис. 2.11**). Можна було б припустити, що ці групи повинні мати достатній досвід і бути добре навчені, щоб запобігти аналогічні інциденти, але статистика свідчить: із працівниками треба проводити безупинне навчання.

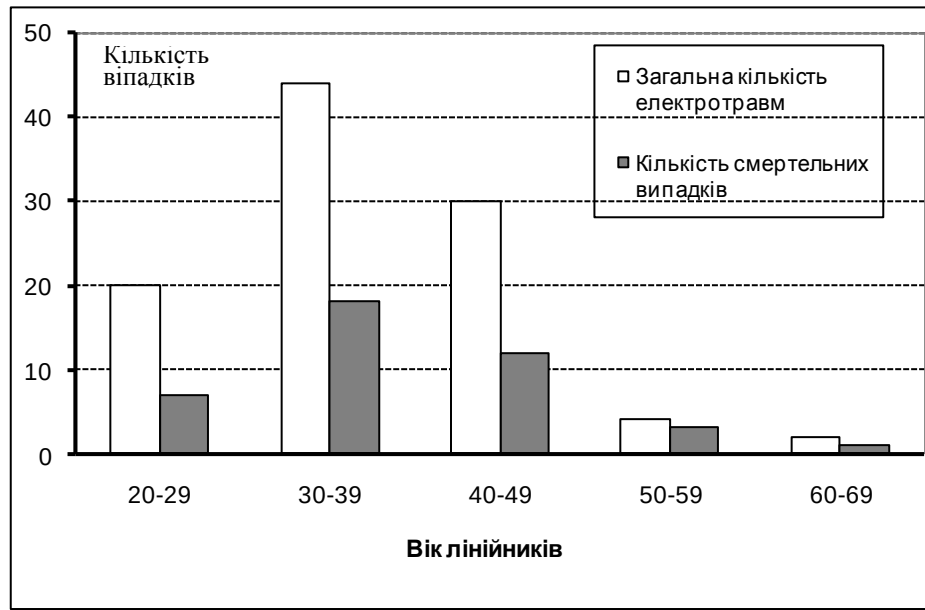


Рис. 2.11. Статистика ураження електричним струмом залежно від віку лінійників

Для зниження кількості нещасних випадків з лінійниками необхідно:

- підприємствам, що застосовують рукавичний метод робіт – розробити і впровадити програму безпеки, що має містити щомісячні заняття з питань безпеки;
- лінійники повинні проходити спеціальне тренування, «прив’язане» до етапів їхньої роботи, з контролем видів небезпеки. Перед допуском на лінію під напругою вони повинні демонструвати вміння виконувати роботи;
- усі роботи, виконувані лінійником, мають відповідати Правилам техніки безпеки;
- лінійники повинні бути навчені та проінструктовані щодо дотримання всіх правил безпеки і технології робіт;
- лінійники повинні бути навчені правильного використання індивідуальних ізолювальних засобів;
- жодних робіт не можна проводити без попереднього обговорення їх на робочому місці. Під час такого обговорення має бути визначено всі можливі види небезпеки та необхідні заходи для їх усунення.

2.8. Моделювання розподілу напруги вздовж гірлянди ізоляторів повітряної лінії електропередачі

У процесі дослідження умов виконання робіт у всіх частинах простору в зоні електроустановок від поверхні землі до струмопровідних частин треба визначити можливість проведення робіт ПРН та дотримання правил безпеки.

Для цього необхідно оцінити рівні ізоляції електроустановок і розроблюваних пристроїв, обґрунтувати конструкції шунтувальних електричних та механічних пристроїв. Ізоляція електроустановок, повітряні проміжки, пристрої для робіт під напругою перебувають під дією робочої напруги та перенапруги (комутаційної та атмосферної). Визначити необхідність урахування впливу на електричну міцність стану ізоляційних поверхонь. Показано, що забруднення та зволоження призводять до різкого зниження їх електричної міцності.

Зокрема, опір шару забруднення

$$R = \frac{\rho l}{\pi d \delta} \text{ ом}, \quad (2.11)$$

де ρ – питомий об’ємний опір шару забруднення, $\text{ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$; l – довжина шляху витoku ізолятора, м ; δ – товщина шару забруднення, мм .

Якщо припустити, що шар забруднення має однакову товщину по поверхні, то питома поверхнева провідність $\chi = \delta/\rho$, а значить, $R = l/(\pi d \chi)$, тобто опір ізолятора прямо пропорційний довжині шляху витoku та обернено пропорційний питомій поверхневій провідності шару забруднення та діаметру ізолятора. Відповідно до цього для технологій робіт вибираються або гладкі склопластикові ізолятори та поліпропіленові канати, або спеціальні склопластикові ізолятори з розгалуженою поверхнею, розроблені для робіт під напругою.

З метою визначення умов роботи під напругою на ПЛ 750 кВ треба виконати вимір електричного поля на проміжних і анкерно-кутових опорах.

Під час проведення вимірів дослідник перебуває усередині стояка чи траверси опори, а прилад – на витягнутій руці виносить за межі металоконструкцій. Результати вимірів наведено в **табл. 2.4**.

Таблиця 2.4. Результати вимірів електричного поля на проміжних та анкерно-кутових опорах

Номер місця виміру	Напруженість електричного поля в разі розташування вимірювального приладу, кВ/м		Відстань від рівня грунту, м
	за межами металоконструкції опори	усередині металоконструкції опори	
1	5	0	1,8
2	5	0	1,8
3	2	0	3,5
4	14	0,5	14
5	40	4	24
6	48	18	28
7	5	2	33
8	1	0	36
9	4	0	36
10	28	4	36
11	36	32	36
12	2,5	0	36
13	5	0	1,8
14	20	0	6
15	40	5,5	15
16	52	4,5	20
17	48	1,5	23

Номери місць вимірів позначено на схемі, наведених на **рис. 2.12** (проміжна опора) та **рис. 2.13** (анкерна опора).

Дослідженнями також встановлено, що на відстані до 15 м від центру опори на висоті 1,8–2 м від ґрунту напруженість електричного поля не перевищує 5 кВ/м, а в разі підйому на опору збільшується, досягаючи максимального значення 48–52 кВ/м на стояках опор на рівні проводів. У разі переміщення траверсою максимальна напруженість електричного поля має дорівнювати 34 кВ/м на рівні крайніх проводів.

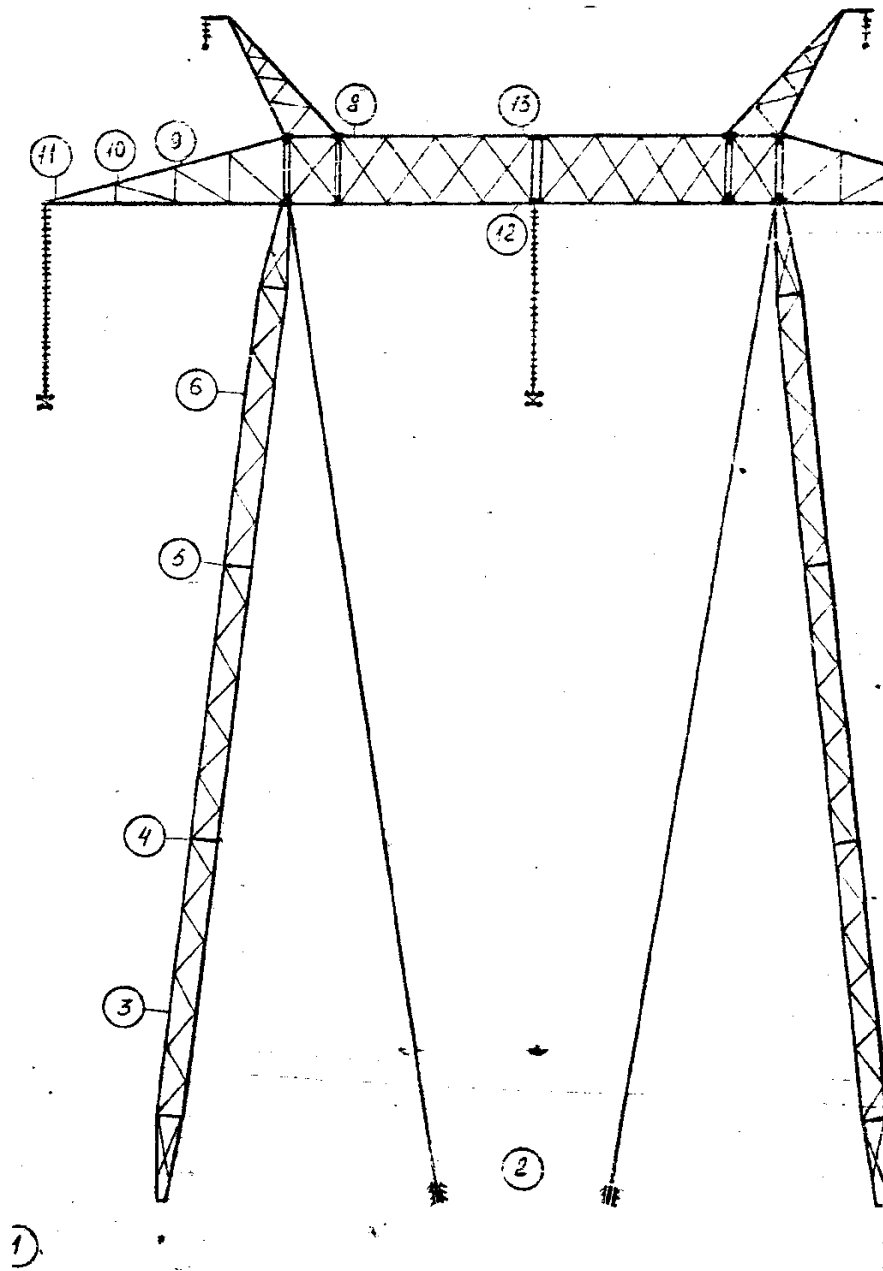


Рис. 2.12. Схема позначення номерів місць вимірів електричного поля на проміжних опорах ПЛ 750 кВ

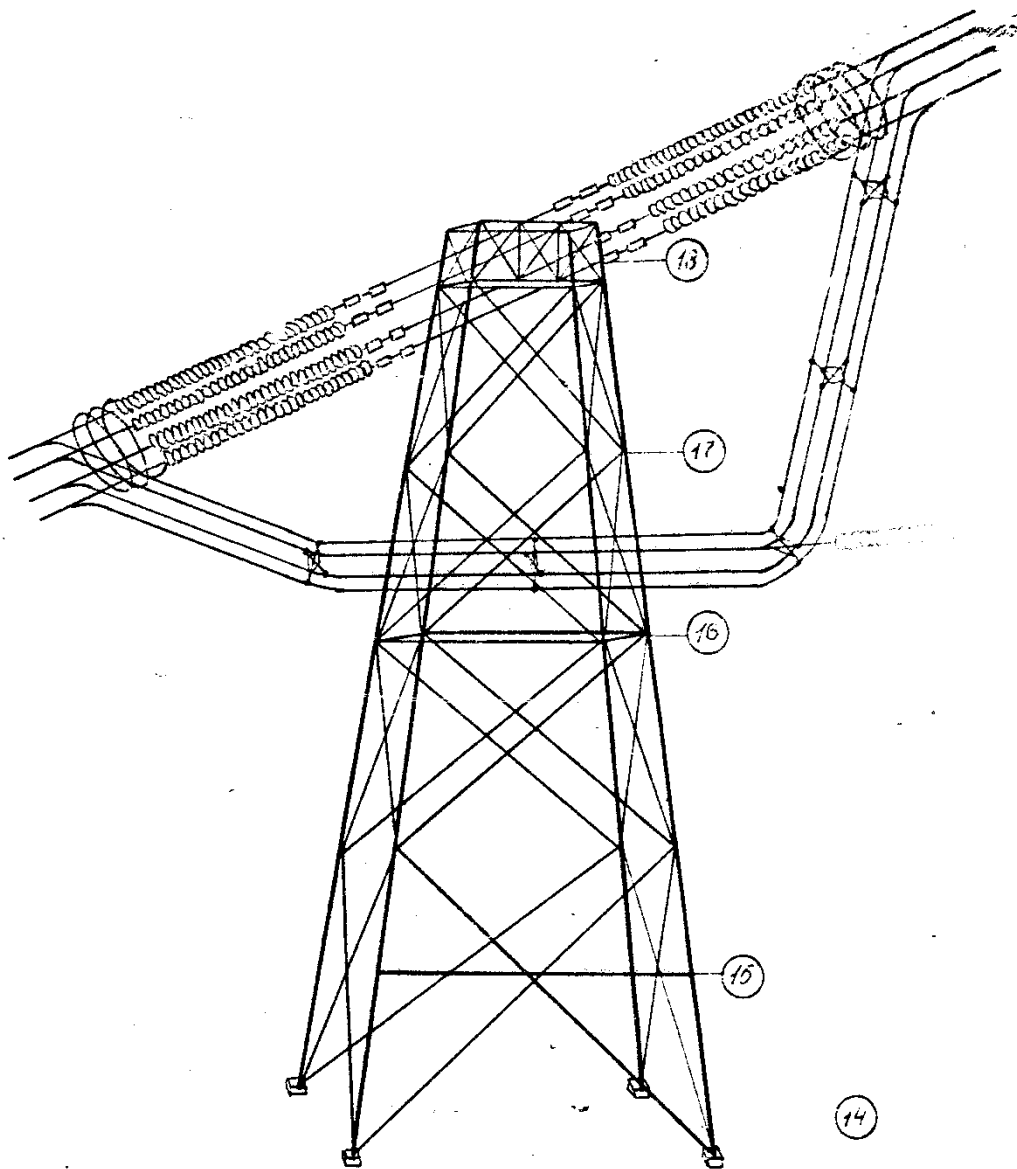


Рис. 2.13. Схема позначення номерів місць вимірів електричного поля на анкерно-кутових опорах ПЛ 750 кВ

Під час виконання робіт під напругою на натяжних гірляндах повітряних ліній електропередачі напругою 500–750 кВ передбачається пересування людини по конструкції гірлянд на спеціальному візку та шунтування окремих ізоляторів. Для оцінювання безпеки виконання робіт та можливості їх виконання важливо оцінити зміни розподілу напруги вздовж гірлянд ізоляторів, які при цьому виникають.

Розрахунок розподілу напруги вздовж довгих гірлянд ізоляторів базується на їх ємнісних схемах заміщення.

Під час виконання робіт з ремонту елементів ПЛ безпосередньо ПРН потрібно виконати ряд технологічних операцій, які пов'язані з розміщенням електромонтерів, пристосувань і обладнання на траверсі і стояку опори ПЛ в зоні електричного поля з напруженістю вище 5 кВ/м. При цьому виникають зміни градієнтів електричного поля, що в свою чергу призводить до зміни розрядних характеристик повітряних проміжків і гірлянд ізоляторів, що ремонтуються.

Дослідження розрядних характеристик повітряних проміжків і гірлянд ізоляторів у разі внесення пристосувань і обладнання в зону опори є дуже громіздкою і складною роботою, якщо її виконувати традиційними випробувальними методами. Більш доцільним є виконання розрахунку електричних полів і розподілу напруги вздовж гірлянд ізоляторів ПЛ за допомогою моделювання, для чого використовуються точні описи опор, проводів, ізолювальних підвісок, пристосувань і обладнання для робіт ПРН, а також інформація про розташування людини в просторі поблизу опори. В результаті таких розрахунків можна отримати необхідну інформацію для визначення «слабкого» місця в технологіях ПРН з точки зору електричної міцності повітряних проміжків.

Допустимий рівень напруженості електричного поля вздовж гірлянди:

$$E_{\text{дон}} = \frac{\Delta U_{\text{дон}}}{H_i} \leq 2 \div 2,5 \text{ кВ} / \text{см}, \quad (2.12)$$

де $\Delta U_{\text{дон}}$ – допустимий рівень падіння напруги на ізоляторі, кВ; H_i – висота ізолятора, см.

Традиційна розрахункова методика дає змогу досить точно оцінити розподіл напруги тільки при відносно малій кількості ізоляторів у гірляндах (до 4 – 10).

Для гірлянд з більшою довжиною традиційна методика дає завищені оцінки падіння напруги на ізоляторах. Причиною таких розбіжностей є нехтування зміною ємностей ізоляторів відносно землі і проводу. Загальний вигляд розташування гірлянди наведено на **рис. 2.14**, а відповідну схему заміщення – на **рис. 2.15**, де позначено: K – власна ємність ізолятора; C_1 – ємність металевих елементів ізоляторів відносно заземлених частин; C_2 – ємність металевих елементів ізоляторів відносно проводів; R – опір витоку струму по поверхні ізоляторів.

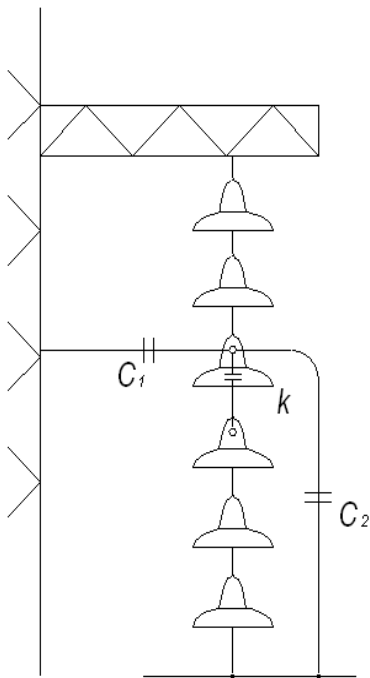


Рис. 2.14. Загальний вигляд розташування гірлянди ізолятора

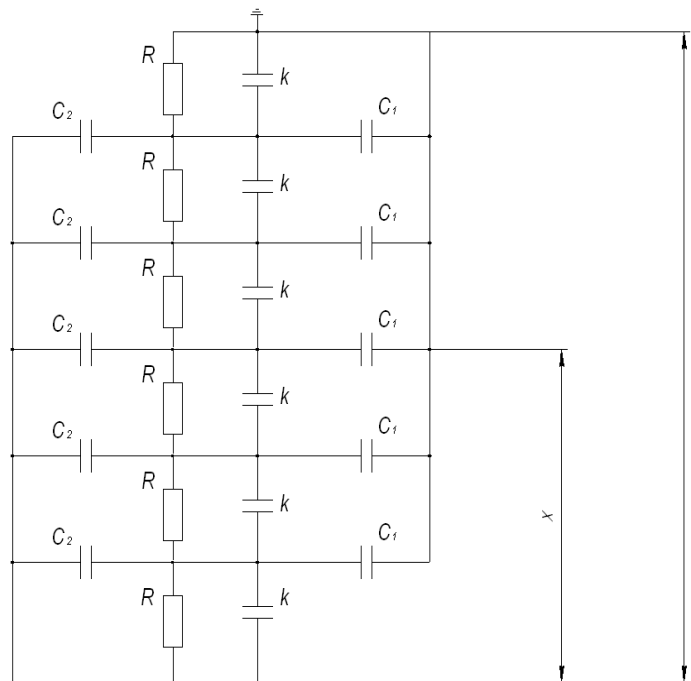


Рис. 2.15. Схема заміщення гірлянди ізолятора

Розрахункову схему для моделювання розподілу напруги вздовж гірлянди ізоляторів наведено на **рис. 2.16**, де позначено: N_n – номер ділянки проводів; P – номер складових проводу; S – номер ділянок опори; m – номер ізоляторів; C_{iz} – ємність одиничного ізолятора; q – заряди шапок ізоляторів; U – падіння напруги на ізоляторах.

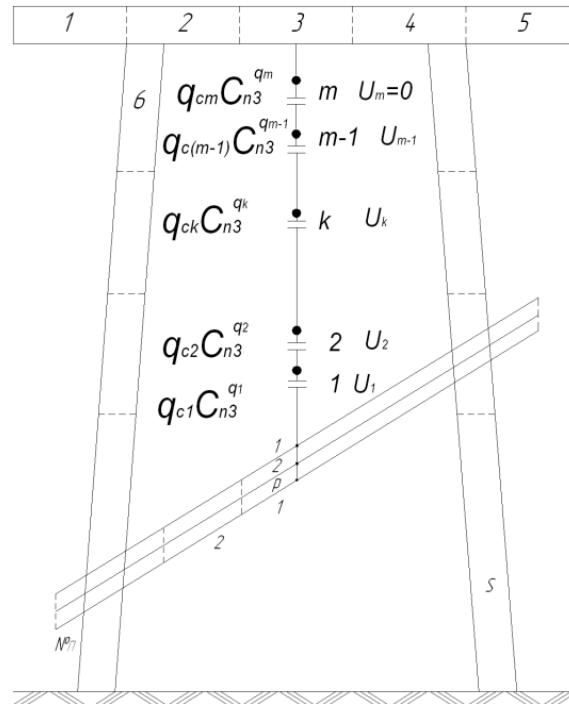


Рис. 2.16. Розрахункова схема для моделювання розподілу напруги

Розрахункову схему для визначення падіння напруги на одноланцюговій гірлянді з нерозщепленим фазним проводом наведено на **рис. 2.17**, а з фазою, розщепленою на два проводи – на **рис. 2.18**.

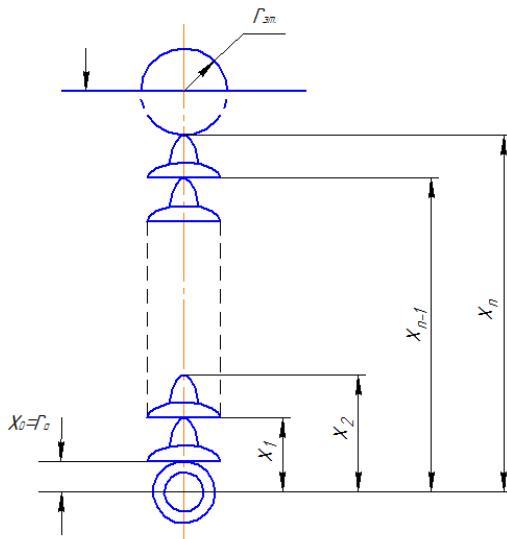


Рис. 2.17. Розрахункова схема для одноланцюгової гірлянди з нерозщепленим фазним проводом

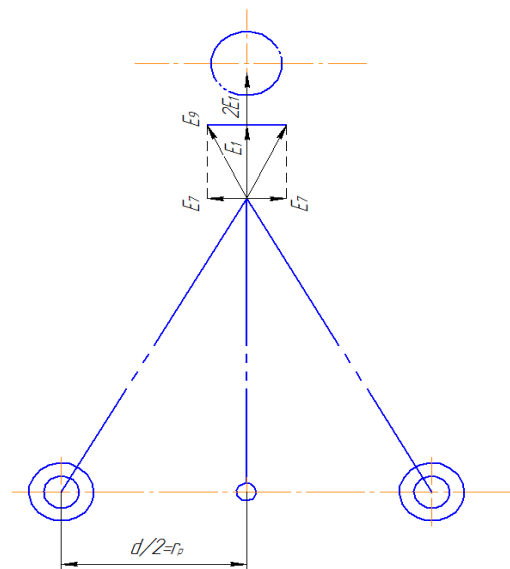


Рис. 2.18. Розрахункова схема для фази, розщепленої на два проводи

Згідно з наведеними вище позначеннями падіння напруги на ізоляторі від заряду проводу:

$$\Delta U_n = \frac{g_{np}}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{X_n}{X_{n-1}} \frac{2H_{np} + X_{n-1}}{2H_{np} + X_n}. \quad (2.13)$$

Так як висота підвісу проводу є значно більшою порівняно з висотою ізолятора H_i , то

$$\frac{2H_{np} + X_{n-1}}{2H_{np} + X_n} \approx 1,$$

а формула (2.3) набуває вигляду:

$$\Delta U_n \approx \frac{g_{np}}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{X_n}{X_{n-1}}. \quad (2.14)$$

Для першого від проводу ізолятора $X_0 = r_2$ та $X_1 = r_a + H_i$, тоді

$$\Delta U_1 = \frac{g_n}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{H_i + r_a}{r_a}, \quad (2.15)$$

де r_a – радіус кола, що охоплює елемент підтримувального затискача.

При розщепленні фази на два проводи (рис. 2.18):

$$\Delta U_n \approx \frac{g_{np}}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{\sqrt{r_p^2 + X_n^2}}{\sqrt{r_p^2 + X_{n-1}^2}} \quad (2.16)$$

Для першого від проводу ізолятора аналогічно (2.15)

$$\Delta U_1 = \frac{g_{np}}{2\pi\epsilon_0} \ln \sqrt{\frac{r_p^2 + (H_i + r_i)^2}{r_p^2 + r_a^2}} \approx \frac{g_{np}}{2\pi\epsilon_0} \ln \sqrt{1 + \left(\frac{H_i + r_a}{r_p}\right)^2} \quad (2.17)$$

Вплив арматури, розташованої упоперек проводів, може бути враховано шляхом умовного розвороту коромисла вздовж фази проводів. Додаючи падіння напруги на першому ізоляторі від заряду проводу і заряду коромисла, отримуємо падіння напруги на ізоляторах.

$$\Delta U_n = \frac{g_{np}}{2\pi\epsilon_0} \ln \sqrt{1 + \left(\frac{H_i + r_a}{r_p}\right)^2} + \frac{g_{np}}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{X_n}{X_{n-1}}. \quad (2.18)$$

Відповідно до виразу (2.18) при збільшенні радіусу розщеплення проводу складова падіння напруги від заряду на проводі швидко зменшується. Отже, формули (2.15) – (2.18) визначають поступове зменшення падіння напруги на ізоляторах по мірі віддалення від проводу. Для отримання дійсної картини поля потрібно врахувати поле заряду на траверсі. Так як заряд на траверсі протилежний за знаком заряду на проводі, падіння напруги на ізоляторах гірлянди за умови врахування впливу траверси збільшується тим більше, чим ближче ізолятор знаходиться до траверси:

$$\Delta U_{nm} = -\frac{g_{np}}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{H_m - H_{np} - X_{n-1}}{H_m - H_{np} - X_n} \frac{2H_{np} - X_n}{2H_{np} - X_{n-1}} \approx -\frac{g_{np}}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{H_m - H_{np} - X_{n-1}}{H_m - H_{np} - X_n}, \quad (2.19)$$

де ΔU_{nm} – падіння напруги на n -му ізоляторі від заряду g_m на траверс m .

Згідно з (2.19) значення ΔU_{nm} мають бути додані до значень ΔU_n , визначених згідно (2.1) для одиночного і згідно (2.18) для розщепленого проводу.

Для ПЛ з одиночним проводом розподіл напруженості поля вздовж осі гірлянди визначається формулою:

$$E_x = \frac{g_{np}}{2\pi\epsilon_0} - \frac{g_r}{2\pi\epsilon_0(H_r - H_{np} - X)} \quad (2.20)$$

При довільній кількості проводів у фазі формула розподілу напруженості поля від заряду на проводах приймає вигляд:

$$E_{np\max} = \frac{0,72q_{np}}{2\pi\epsilon_0 r_p} \left(1 - \frac{0,6}{n}\right) \quad (2.21)$$

Отже, максимальна напруженість поля від заряду на проводі зменшується обернено пропорційно радіусу розщеплення проводів. З урахуванням заряду на елементах опори ПЛ і заряду траверси максимальна напруженість поля:

$$E_{\max} = \frac{0,72q_{np}}{2\pi\epsilon_0 r_p} \left(1 - \frac{0,6}{n}\right) + \frac{q_a}{2\pi\epsilon_0(x_e - x_a)} - \frac{q_m}{2\pi\epsilon_0(H_T - H_{\text{ПП}} - x_e)}, \quad (2.22)$$

де x_a – координата центра підтримуючого затискача.

Найбільше падіння напруги на ізоляторі може бути знайдено як добуток максимальної напруженості поля та будівельної висоти ізолятора:

$$\Delta U_{\max} = E_{\max} H_i \quad (2.23)$$

Нижче наведено результати моделювання схеми заміщення гірлянди ізолятора за допомогою пакету MATLAB. Модель схеми заміщення гірлянди ізоляторів наведено на **рис. 2.19**.

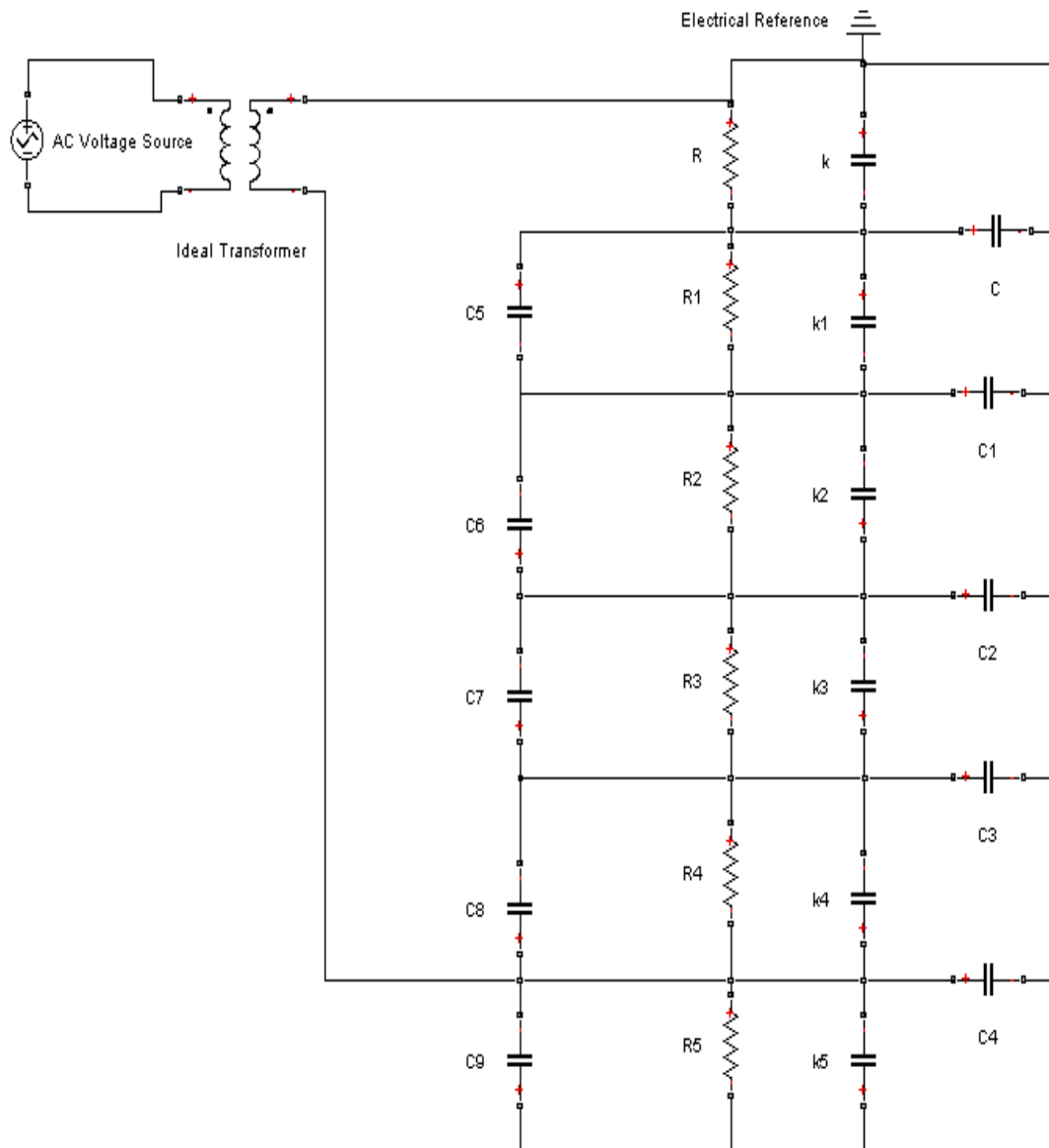


Рис. 2.19. Модель схеми заміщення гірлянди для розподілу напруги вздовж гірлянди ізоляторів

Діалогове вікно, у якому задаються параметри блоків резисторів, наведено на **рис. 2.20**.

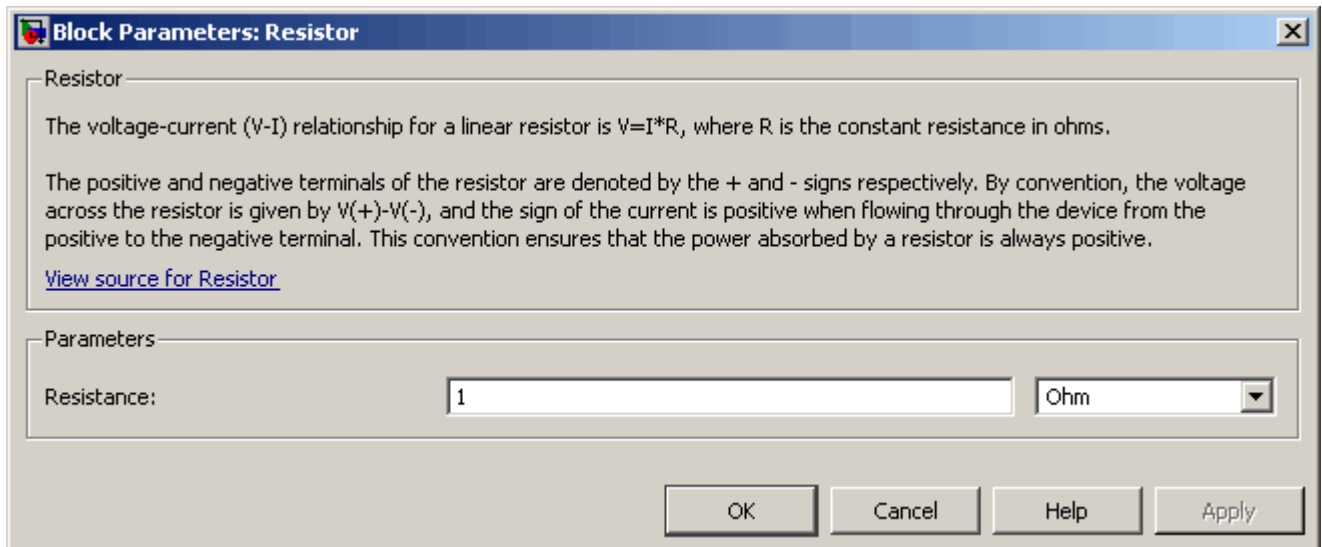


Рис. 2.20. Діалогове вікно, у якому задаються параметри блоків резисторів

Діалогове вікно, у якому задаються параметри блоків конденсаторів, наведено на **рис. 2.21**.

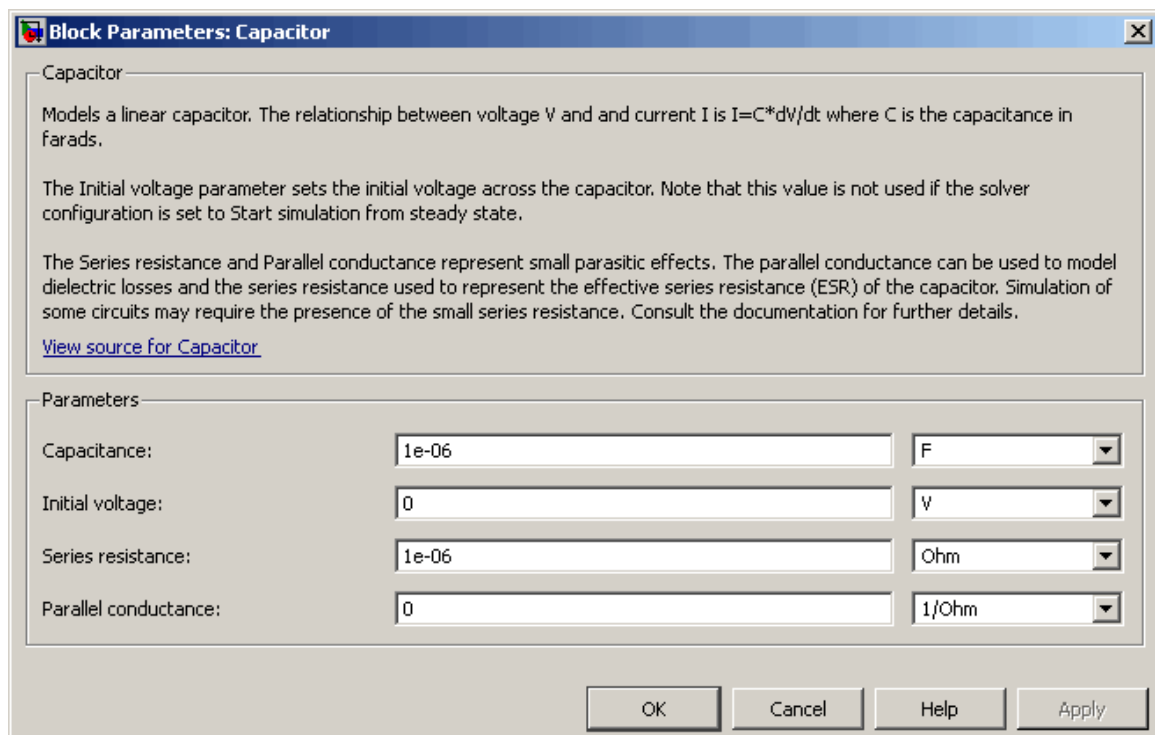


Рис. 2.21. Діалогове вікно, у якому задаються параметри блоків конденсаторів

Діалогове вікно, у якому задаються параметри трансформатора, наведено на **рис. 2.22**.

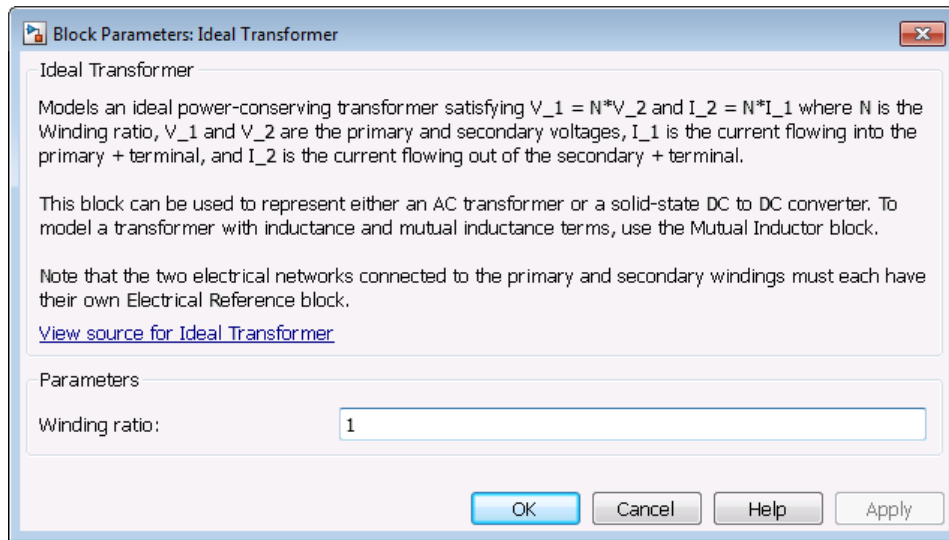


Рис. 2.22. Діалогове вікно, у якому задаються параметри трансформатора

Діалогове вікно, у якому задаються параметри джерела напруги, наведено на **рис. 2.23**.

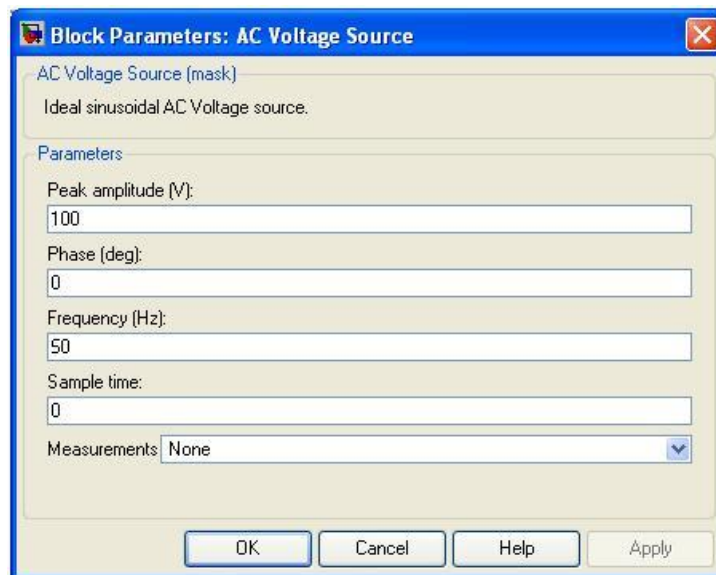


Рис. 2.23. Діалогове вікно, у якому задаються параметри джерела напруги

Результат аналітичного розрахунку розподілу напруги вздовж гірлянди ПЛ 330 кВ, виконані з урахуванням наведено на **рис. 2.24**, а за результатами моделювання – на **рис. 2. 25**.

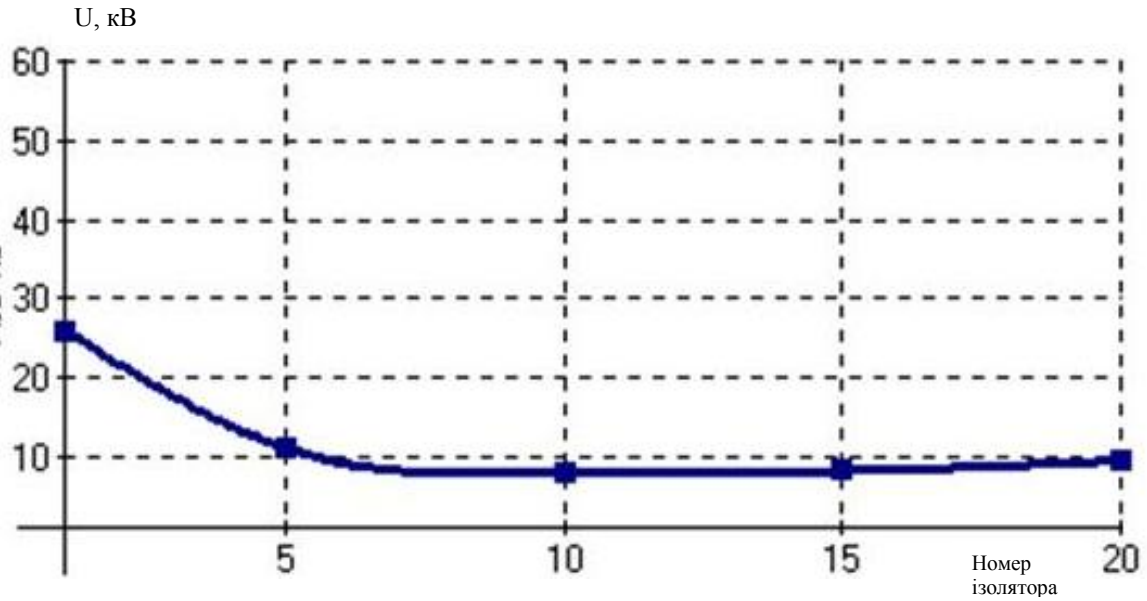


Рис. 2.24. Результат аналітичного розрахунку розподілу напруги вздовж гірлянди ізоляторів ПЛ 330 кВ

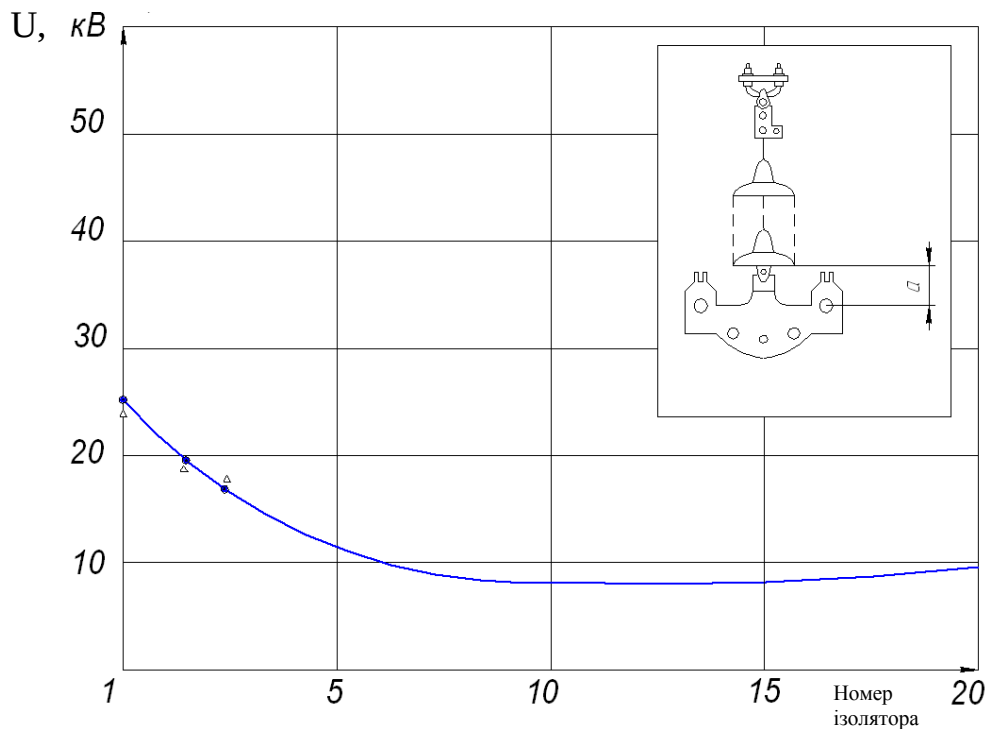


Рис. 2.25. Розподіл напруги вздовж гірлянди ізоляторів ПЛ 330 кВ за результатами моделювання

Як бачимо, графік отриманий при моделюванні гірлянди ізолятора та дослідженні розподілу напруги вздовж гірлянди за допомогою пакету MATLAB майже не відрізняється від графіка, отриманого в результаті аналітичних розрахунків.

2.9. Прогнозування перекриттів ізоляції під час виконання робіт на ПЛ, що перебуває під робочою напругою

Обмеження під час виконання робіт ПРН передбачають, що на окремій ПЛ зазвичай працюють не більш m бригад (тобто є m послаблених місць на ПЛ). При цьому прийнято принципи практичної неможливості перекриття гірлянди у процесі виконання робіт. Тоді очікувана кількість n перекриттів під впливом робочої напруги визначиться за формулою

$$n = mF\left(\frac{E_{роб} - E_{розр}}{cE_{розр}}\right) = mF\left(\frac{1-k}{ck}\right), \quad (2.24)$$

де F – функція нормального розподілу розрядних градієнтів; $E_{розр}$ – розрядний градієнт гірлянди ізоляторів; c – коефіцієнт мінливості розрядних напруг; k – коефіцієнт запасу ($k = E_{розр}/E_{роб}$), який для забезпечення надійної роботи ізоляції має дорівнювати 1,8–2, при цьому $E_{роб}$ визначається для найнесприятливіших умов (у разі наявності забруднень та зволоження).

Через те, що відповідно до чинних нормативів ПРН здійснюється в суху погоду, значення $E_{розр}$ набагато вище, ніж для вологих ізоляторів. За цих умов коефіцієнт k становить близько 4. При цьому вірогідність перекриття одиначної гірлянди ізоляторів становить 10^{-8} , а очікувана кількість перекриттів однієї з m гірлянд – одне на сто тисяч років. Таким чином, існуючі рівні ізоляції електроустановок щодо впливу робочої напруги не являють небезпеки для перекриття ізоляції під час робіт ПРН за нормальних умов (за відсутності зволоження).

У разі наявності перенапруг вірогідність перекриття одиначного проміжку визначається виразом

$$P_{U_{ном}} = F\left(\frac{U_{ком} - U_{50\%}}{cU_{50\%}}\right) = F(t), \quad (2.25)$$

де F – функції нормального розподілу розрядних напруг з аргументом

$$t = (U_{ком} - U_{50\%}) / (c U_{50\%});$$

$U_{ком}$ – величина комутаційних перенапруг; $U_{50\%}$ – п'ятидесятивідсоткова розрядна напруга проміжку; C – коефіцієнт мінливості розрядних напруг.

У разі одночасної роботи m бригад значення п'ятидесятивідсоткової розрядної напруги ізоляції знижується обернено пропорційно збільшенню m , на що слід зважати під час розрахунків. Тому в разі роботи на лінії електропередачі m бригад показник $P U_{ном}$ визначиться з огляду на залежність

$$F_m = \frac{U_{50\%} - U_{50\%m}}{c U_{50\%m}} = F_m(t_{50\%m}), \quad (2.26)$$

де $U_{50\%m}$ – п'ятидесятивідсоткова розрядна напруга проміжку з урахуванням m послаблених місць внаслідок одночасної роботи під напругою m бригад.

Із збільшенням кількості послаблених місць зменшується відношення середньокритичного відхилення розрядних напруг від середнього (за m розрядних проміжків) до середньокритичного відношення розрядних напруг від середньої розрядної напруги (у разі одного розрядного проміжку). Залежність $F_m(U_{ком})$ можна зазначити одиничною функцією, яка наближається до нуля у разі $U_{ком} < U_{50\%}$ та дорівнює 1 у разі $U_{ком} > U_{50\%}$.

Звідси

$$U_{50\%m} = U_{ком} \cdot 1 - c \cdot t_{50\%m}. \quad (2.27)$$

Зважаючи на вірогідність можливого перекриття, розрахункова кратність перенапруг збільшується на коефіцієнт безпеки $k_\delta = 1,15$. Можливе збільшення робочої напруги порівняно з номінальною враховується коефіцієнтом $k_p = 1,15 - 1,05$; а кратність можливих перенапруг – коефіцієнтом $k_{np} = 3 - 2,1$. Вплив на розрядну напругу враховується відношенням атмосферного тиску повітря до нормального тиску P_0/P , тобто

$$U_{50\%m} = \left(\frac{\sqrt{2} \cdot U_n k_0 k_p k_{np}}{\sqrt{3} \cdot 1 - c t_{50\%m}} \right) \cdot \frac{P_0}{P}. \quad (2.28)$$

Беручи значення $U_{50\%m}$ за розрядну напругу U_p , для різних класів напруг визначають допустимі відстані наближення під час ПРН по повітряному проміжку D та мінімально допустимій довжині по гірлянді ізоляторів H_z . Результати розрахунків D та H_z наведено у **табл. 2.5**, а дані щодо параметрів гірлянд ізоляторів та допустимої кількості дефектних ізоляторів під час ПРН в електроустановках 110–750 кВ – в **табл. 2.6**. Вимоги щодо ізоляції для пристроїв та обладнання, призначеного для ПРН, наведено в **табл. 2.7**.

Схему визначення допустимих відстаней наближення до опори ПЛ наведено на **рис. 2.26**.

Для забезпечення робіт на лініях електропередачі напругою 110–750 кВ широкого застосування набули спеціально розроблені для цілей ПРН склопластикові ізолятори, які використовуються для тимчасової підвіски проводів ліній електропередачі та технологічної оснастки. Вони мають високі механічні та електричні характеристики та незначну масу, що забезпечує зручність під час виконання робіт.

Таблиця 2.5. Результати розрахунків параметрів D та H_z

U_n , кВ	k_p	k_{np}	P_o/P	$U_{50\%m}$, кВ	D , м	H_z , м
110	1,15	3	1,1	417	0,8	0,9
150	1,15	3	1,1	472	1,2	1,3
220	1,15	1,5	1,1	660	1,6	1,0
330	1,1	2,5	1,1	947	2,1	2,5
400	1,1	2,5	1,05	1148	2,5	3,2
500	1,1	2,5	1,05	1435	3,0	4,5
750	1,05	2,1	1,05	1808	4,5	5,8

Позначення: k_p – можливе збільшення робочої напруги проти номінальної; k_{np} – кратність можливих перенапруг; D – допустима відстань наближення по повітряному проміжку; H_z – мінімально допустима довжина по гірлянді ізоляторів.

Таблиця 2.6. Параметри гірлянд ізоляторів та допустима кількість дефектних ізоляторів під час робіт ПРН в електроустановках 110–750 кВ

U _н , кВ	H _г , м	Тип ізолятора	Довжина гірлянди за проектом, м	Кількість ізоляторів за проектом, шт.	Допустима кількість ізоляторів, шт	
					справних (мінім.)	дефектних
750	5,8	ПС200-Б	6,2	24	27	7
		ПС210-Б	5,8	35	29	6
		ПС120-А	6,2	44	38	6
		ПС160-Б	7,0	41	29	12
500	4,5	ПС120-А	4,1	28	25	3
		ПФ160-А	4,5	26	21	5
		ПС160-Б	4,25	25	22	3
		ПС210-Б	4,6	23	19	4
		ПС300-Б	4,3	22	19	3
330	2,5	ПФ6-Б	2,8	20	16	4
		ПФ6-А	3,18	19	14	5
		ПС120-А	3,06	21	16	5
		ПС160-Б	3,24	19	14	5
220	1,8	ПФ6-Б	2,1	15	11	4
		ПФ6-А	2,34	14	10	4
		ПС120-А	2,34	16	11	5
		ПС210-Б	1,98	12	10	2
110	0,9	ПФ6-Б	0,98	7	5	2
		ПС6-А	1,04	8	5	3

Таблиця 2.7. Вимоги щодо ізоляції для пристроїв та обладнання, призначеного для робіт ПРН

Найменування	Мінімально допустимі за умов безпеки довжини ізолювальної частини пристроїв та обладнання, які призначені для робіт ПРН (залежно від номінальної напруги електроустановок, кВ)								
	6-10	35	110	150	220	330	400	500	750
Ізолювальні штанги, драбини, захоплювачі, м	0,5	0,5	0,9	1,3	1,8	2,5	3,2	4,5	5,8
Ізолювальна тяга з розгалуженою поверхнею, м	0,5	0,5	0,9	1,3	1,8	2,5	3,2	4,5	5,8
Ізолювальні канати, м	0,5	0,6	1,0	1,5	2,0	3,0	3,6	5,0	6,5

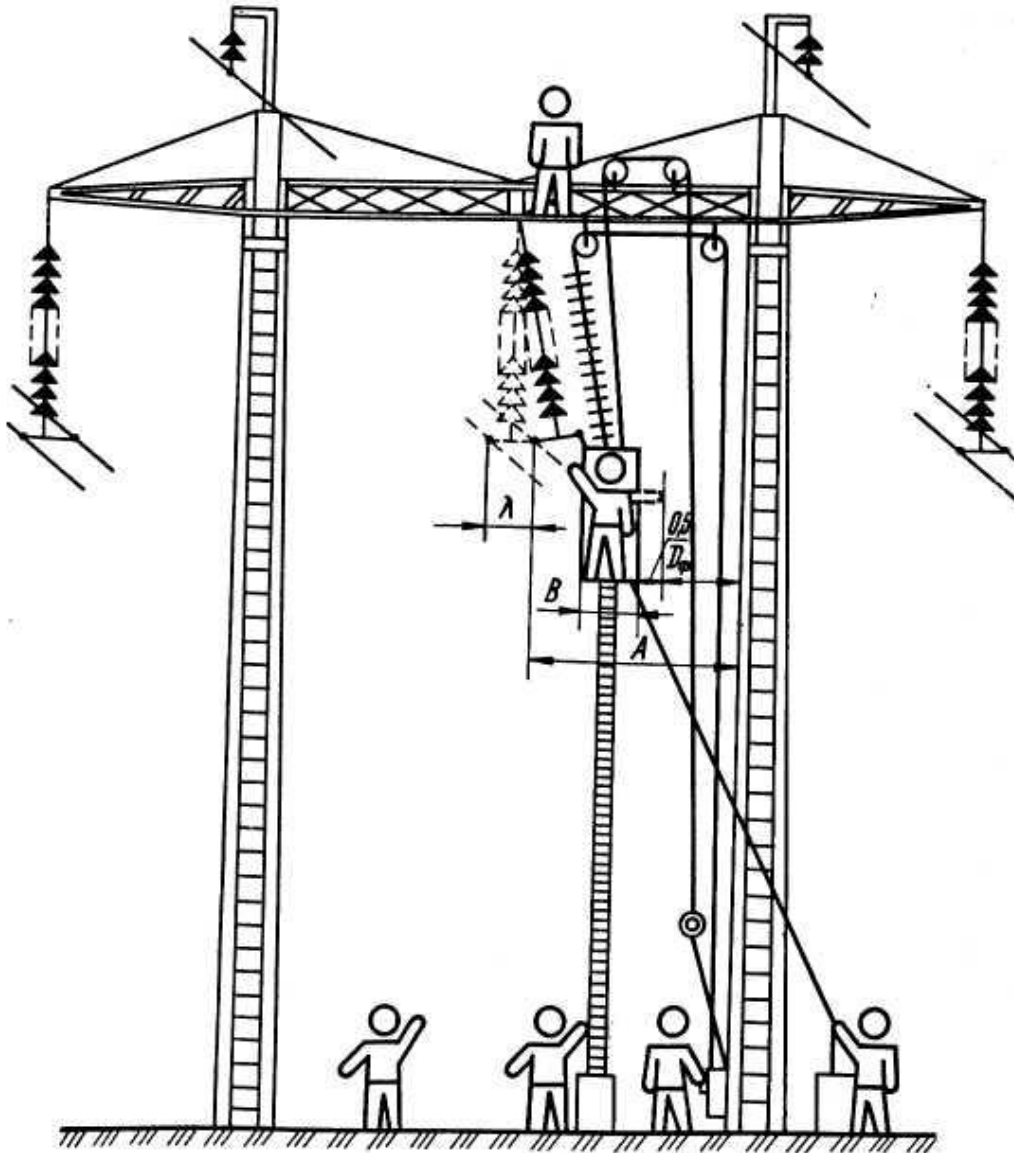


Рис. 2.26. Схема визначення допустимих відстаней наближення до опори ПЛ

Практично в усіх технологічних схемах під час виконання робіт на ПЛ використовуються ізолювальні пропіленові канати. У процесі робіт канати мають витримувати великі електричні та механічні навантаження, тому їх слід виготовляти з матеріалів високої механічної та електричної міцності. У сухому стані поліпропіленові канати мають пробивну напругу не менше 3,5 кВ/см за випробувальної 2,5 кВ/см. У разі зволоження пробивна напруга канатів різко знижується та становить близько 0,7–0,8 кВ/см.

Під час виконання робіт під напругою на натяжних гірляндах повітряних ліній електропередачі напругою 500–750 кВ передбачається пересування людини по конструкції гірлянд на спеціальному візку та шунтування окремих ізоляторів. Для оцінювання безпеки виконання робіт та можливості їх виконання важливо контролювати розподіл напруги вздовж гірлянд ізоляторів.

Експериментальні дані розподілу напруги по елементах п'ятиланцюгової гірлянди ПЛ 750 кВ ($U_{\phi} = 434$ кВ, 39 ізоляторів ПС 160 Б) наведено в **табл. 2.8**, а розрахункові дані (у відсотках) – в **табл. 2.9**.

Шунтування ізоляторів у гірлянді під час виконання робіт ПРН призводить до перерозподілу напруги на частині гірлянди, що залишилась. Якщо вкоротити чотири крайні ізолятори, то це фактично відповідає вкороченню гірлянди. При цьому можна вважати, що потенціал укороченої частини відносно «землі» дорівнює середньому значенню потенціалів ізоляторів, які вкорочуються.

Таблиця 2.8. Експериментальні дані розподілу напруги по елементах п'ятиланцюгової гірлянди ПЛ 750 кВ

№ ізолятора	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Напруга, %	5,23	5,15	4,78	4,44	4,11	3,82	3,55	3,31	3,10	2,9
Напруга, кВ	22,70	22,36	20,76	19,27	17,84	16,58	15,42	14,37	13,46	12,56
№ ізолятора	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Напруга, %	2,73	2,58	2,44	2,32	2,22	2,11	2,03	1,96	1,89	1,84
Напруга, кВ	11,86	11,20	10,59	10,08	9,63	9,17	8,81	8,51	8,21	7,99
№ ізолятора	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Напруга, %	1,80	1,76	1,72	1,70	1,68	1,69	1,71	1,73	1,78	1,82
Напруга, кВ	7,81	7,64	7,48	7,39	6,30	7,35	7,44	7,50	7,73	7,90
№ ізолятора	31	32	33	34	35	36	37	38	39	
Напруга, %	1,88	1,94	2,04	2,14	2,27	2,42	2,61	2,83	3,11	
Напруга, кВ	8,17	8,44	8,86	9,31	9,86	10,49	11,32	12,27	13,51	

Максимальна зміна розподілу напруги в разі шунтування 4 ізоляторів натяжної гірлянди (табл. 2.9) не перевищує 20 %, що не призводить до великих складнощів під час проведення ремонтних робіт під напругою.

Таблиця 2.9. Розрахункові дані розподілу напруги по елементах п'ятиланцюгової гірлянди ПЛ 750 кВ

№ ізолятора	Напруга без шунтування	Напруга в разі шунтування ізоляторів			№ ізолятора	Напруга без шунтування	Напруга в разі шунтування ізоляторів		
		1–4	36–39	15–18			1–4	36–39	15–18
1	5,45	0	5,48	5,52	21	1,74	2,09	1,97	1,97
2	5,00	0	5,03	5,07	22	1,72	2,04	1,98	1,93
3	4,60	0	4,64	4,68	23	1,70	1,99	1,99	1,89
4	4,24	0	4,28	4,33	24	1,70	1,96	2,02	1,87
5	3,91	5,82	3,95	4,01	25	1,70	1,93	2,06	1,85
6	3,62	5,34	3,67	3,72	26	1,72	1,93	2,12	1,86
7	3,36	4,91	3,41	3,49	27	1,74	1,93	2,19	1,86
8	3,13	4,52	3,18	3,27	28	1,77	1,94	2,27	1,88
9	2,93	4,18	2,99	3,08	29	1,81	1,96	2,36	1,91
10	2,74	3,87	2,81	2,91	30	1,87	2,01	2,48	1,96
11	2,58	3,59	2,64	2,77	31	1,93	2,05	2,61	2,01
12	2,43	3,34	2,52	2,64	32	2,00	2,11	2,76	2,07
13	2,30	3,12	2,40	2,53	33	2,09	2,19	2,93	2,15
14	2,19	2,93	2,30	2,45	34	2,19	2,28	3,13	2,25
15	2,09	2,76	2,22	0	35	2,30	2,38	3,34	2,35
16	2,00	2,60	2,14	0	36	2,43	2,50	0	2,48
17	1,93	2,47	2,09	0	37	2,58	2,65	0	2,62
18	1,87	2,36	2,04	0	38	2,74	2,80	0	2,77
19	1,81	2,30	2,00	2,10	39	2,93	2,98	0	2,96
20	1,77	2,16	1,98	2,03					

Висновки

Досліджено основні нормативні положення щодо безпечного виконання робіт ПРН і зокрема, вплив електричного та магнітного полів на робітників. Проаналізовано основні вимоги щодо організації робіт на електроустановках, що перебувають під робочою напругою. Наведено результати моделювання розподілу напруги вздовж гірлянди ізоляторів повітряної лінії електропередачі.

Завдання для самоперевірки

1. Проаналізуйте основні положення нормативної бази щодо правил та умов виконання робіт під робочою напругою в електричних мережах.
2. Охарактеризуйте основні фактори впливу на організм людини, яка перебуває дію електромагнітного поля під час виконання робіт ПРН.
3. Наведіть умови безпечного проведення робіт під напругою.
5. Назвіть та порівняйте нормативні значення максимальної допустимої напруженості електричного поля у різних країнах.

РОЗДІЛ 3

ВИКОНАННЯ РОБІТ ПІД РОБОЧОЮ НАПРУГОЮ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ 0,4 – 35 кВ

Мета викладеного у розділі матеріалу:

- класифікація та порівняння методів виконання робіт під робочою напругою в електричних мережах 0,4 – 35 кВ;
- докладний аналіз особливостей застосування різних методів організації та проведення робіт під робочою напругою в зазначених електричних мережах;
- ознайомлення з прикладами виконання найпоширеніших видів робіт під робочою напругою в електричних мережах 0,4 – 35 кВ.

3.1. Класифікація методів та основних захисних засобів під час виконання робіт під напругою в електричних мережах 0,4 – 35 кВ

Серед відомих методів виконання робіт під напругою в розподільних електричних мережах 0,4 – 35 кВ найпоширенішими є такі [6]:

- «штанговий» метод, коли електромонтер перебуває на безпечній відстані від струмопровідних частин електроустановки;
- метод «голих рук», коли електромонтер під час роботи безпосередньо торкається елементів електроустановки, які перебувають під робочою напругою;
- «рукавичний» метод, коли руки електромонтера, що торкається елементів електроустановки, які перебувають під робочою напругою, захищені діелектричними рукавицями.

Під час виконання робіт персонал має бути віддаленим від струмопровідних частин, що перебувають під напругою, на безпечну відстань. При цьому для виконання операцій треба використовувати ізолювальні пристосування, що запобігають випадковому дотику до струмопровідних частин, які мають потенціал, відмінний від потенціалу людини.

В усіх випадках під час виконання робіт мають використовуватися діелектричні рукавички. Доторкатися рукою в діелектричній рукавичці до струмопровідних частин напругою вище 1000 В допускається тільки в разі використання рукавичок, розрахованих на номінальну напругу мережі, і тільки перебуваючи на ізольованій площадці чи в ізолювальному кошику гідропідйомника з ізольованою стрілою, що забезпечує діелектричну міцність проміжку «провід – ізоляція – людина – ізоляція – земля», більшу за триразове значення робочої напруги.

«Штанговий» метод. Роботи на елементах ПЛ, що перебувають під напругою і при яких ізоляція електромонтера від цих елементів забезпечується ізолювальними штангами, класифікуються як роботи на відстані. При цьому методі робіт монтер може розташовуватися на опорі або в робочій кабіні підйомника. Приклади організації робіт ПРН, при яких робітник перебуває на певній відстані від елементів ПЛ, наведено на **рис. 3.1**, на якому позначено: 1 – провід; 2 – ізолювальна штанга-маніпулятор; 3 – ізолювальна штанга; 4 – ізолювальна драбина; 5 – ізолювальна ланка підйомника; 6 – ізолювальна кабіна підйомника; 7 – ізолювальний екран.

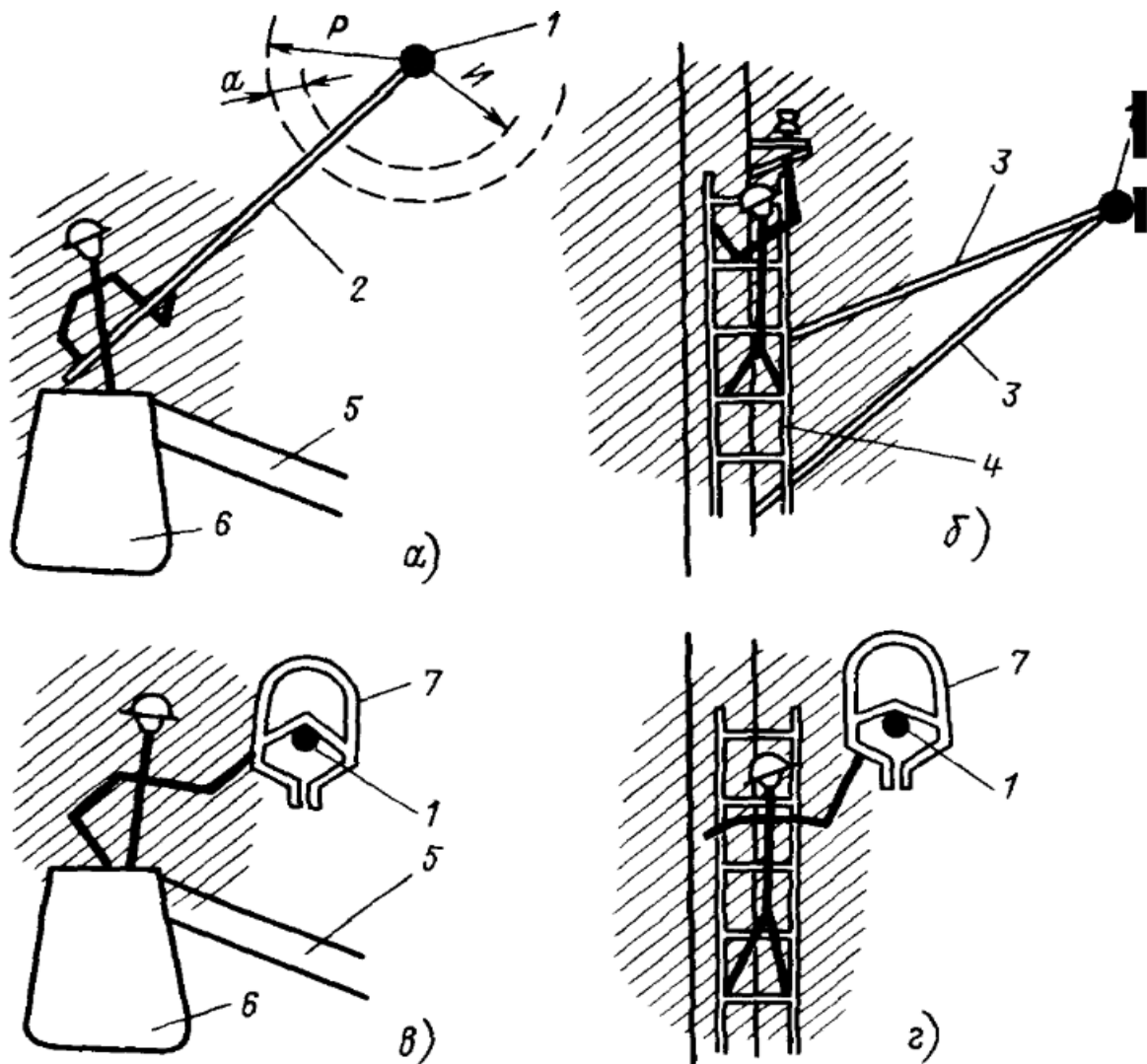


Рис. 3.1. Схема організації робіт ПРН за методом роботи на відстані
а, б – без застосування екранів; в, г – із використанням екранів

Довжина ізолювальної штанги повинна перекривати частину зони нормальних робочих рухів електромонтера і найменшу допустиму відстань P , м (див. рис. 3.1, *a*), яка визначається як $P = a + bI$, де a – відстань, що враховує можливі мимовільні рухи працюючого, м; b – коефіцієнт забезпечення безпеки; I – ізоляційна відстань, що враховує напругу пробією і ймовірну перенапругу в мережі.

Метод «голих рук». За цим методом роботи здійснюються безпосередньо на потенціалі за схемою «провід – людина – ізоляція – земля». Захист електромонтера від протікання по ньому струму, значення якого перевищує поріг чутливості, здійснюється шунтуванням шляху протікання струму через людину шляхом вирівнювання потенціалу проводу, що перебуває під робочою напругою, і потенціалу робочого місця, на якому розміщується електромонтер, з одночасним застосуванням надійної ізоляції робочого місця від землі або заземлених елементів опори, як показано на **рис. 3.2**. При цьому захист електромонтера від впливу ЕМП здійснюється із використанням електропровідного комплекту спецодягу, що утворює «клітку Фарадея», всередині якої дію поля зведено до мінімуму.

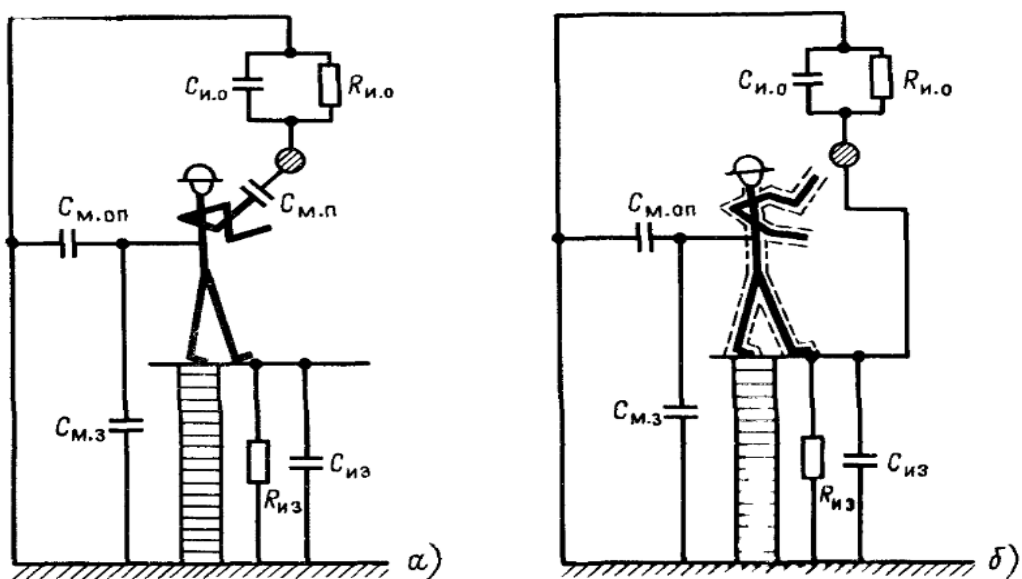


Рис. 3.2. Електрична схема заміщення при роботах під напругою з безпосереднім дотиком до проводу

Порівняльний аналіз застосування двох наведених вище методів робіт ПРН свідчать про те, що чим ближче об'єкт ремонту (вузол чи елемент ПЛ) розташовано до працюючого, тим зручніше і в цілому швидше виконується робота. Тому не є випадковістю, що на практиці найпоширенішими стали комбінації схем робіт під напругою і поєднання робіт під напругою із звичайними методами. Прикладом такого поєднання є схеми робіт із відведенням проводу, що перебуває під напругою, від опори ПЛ за допомогою штанг (робота на відстані) і наступним проведенням роботи по заміні ізолятора, як показано на **рис. 3.3**, на якому позначено: 1 – провід, що перебуває під напругою; 2 – провідник, що вирівнює потенціал проводу та робочого місця; 3 – ізолятор; 4 – кабіна і ізолювальна ланка підйомника.

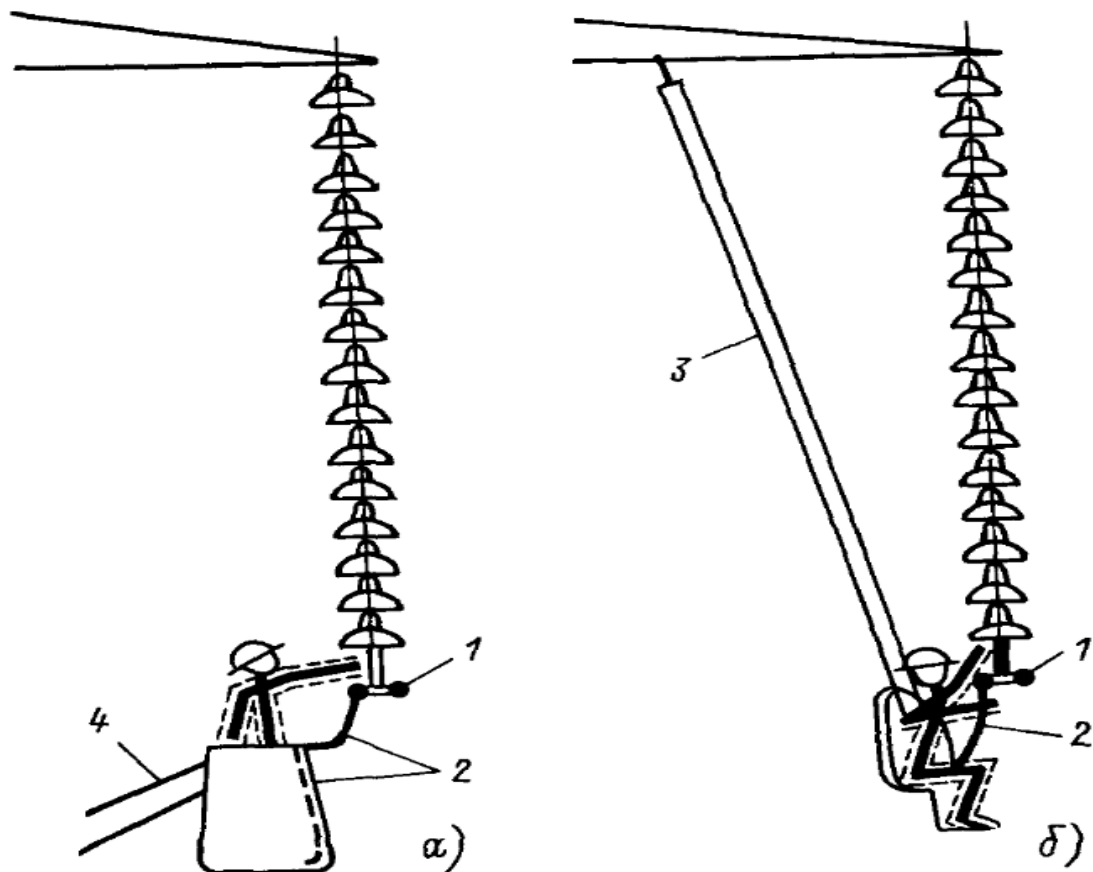


Рис. 3.3. Організація робіт за схемою «провід – людина – ізоляція – земля»

а – робота з кабіни підйомника;

б – робота в монтерській кабіні, закріпленої до траверси на ізоляторі

«Рукавичний» метод. Безпеку електромонтера, який працює під напругою, може бути досягнуто застосуванням ізолювальних засобів, які забезпечують таке збільшення опору електричного кола «провід – ізоляція – людина – земля», за якого струм, що протікає через людину, знизився до безпечних значень. Ця вимога поширюється як на ізоляцію людини від тих елементів, на яких він виконує роботу, так і від інших частин електроустановки, що перебувають під напругою. Необхідна ізоляція досягається включенням в зазначений електричний ланцюг елементів захисту, виготовлених з ізоляційних матеріалів, або створенням достатньої ізоляційної відстані у повітрі.

На **рис. 3.4** наведено схему, яка ілюструє роботу під напругою на дроті нижньої правої фази ПЛ, при якій безпека електромонтера забезпечується застосуванням для технологічних операцій ізолювальних рукавичок і інструменту з ізолювальними ручками. На схемі позначено: 1 – провід ПЛ; 2 – ізолювальні накладки; 3 – ізолювальна драбина.

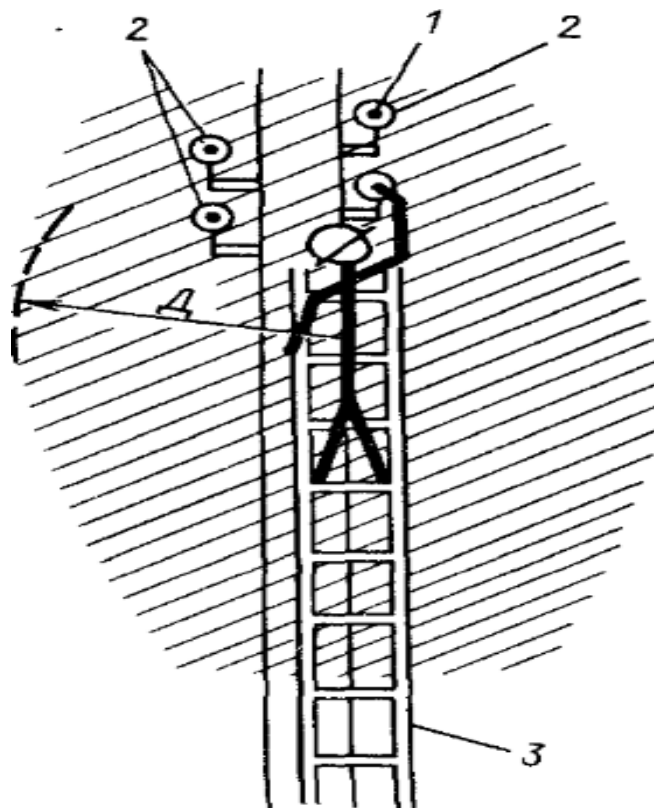


Рис. 3.4. Схема робіт під напругою «рукавичним» методом

Електромонтер виконує технологічні операції, перебуваючи в безпосередній близькості від проводу, тому такий метод проведення робіт під напругою отримав назву «робота в контакті».

Якщо позначити радіус зони нормальних робочих рухів електромонтера (на рис. 3.4 заштриховано) через D , то під час проведення робіт в контакті в цю зону входять всі або деякі проводи ПЛ.

Ізоляція рукавичок та робочого інструменту має перевищувати з певним запасом напругу елементів, на яких проводяться роботи.

Оскільки в процесі роботи в контакті на ПЛ електромонтер розташовується на заземлених конструкціях опор, а в зону його дій можуть потрапити проводи інших фаз, що перебувають під напругою, то для підвищення безпеки електромонтер має бути одягненим в спеціальний захисний костюм з ізолювальними елементами, що виключають торкання струмовідних і заземлених частин ПЛ.

Електромонтер розміщується на ізолювальній драбині, а всі конструктивні елементи, що перебувають в межах зони його робіт (проводи та ізолятори) тимчасово закриваються спеціальними ізолювальними оболонками.

При виконанні робіт під напругою в інших електроустановках, наприклад у розподільних щитах, пристроях вторинних ланцюгів, в якості додаткових захисних засобів, як зазначалося вище, використовуються ізолювальні килимки, а елементи, що перебувають під напругою, або відгороджуються ізолювальними екранами, або закриваються ізолювальними оболонками.

У випадках, коли роботи в контакті з опорами ПЛ виконувати незручно, електромонтер може розміщуватися в ізолювальній кабіні підйомника, яка також захищає його від дотику до заземлених частин опори або до інших фаз ПЛ.

Робочий момент монтажу обладнання на ПЛ під напругою із застосуванням наведених вище методів показано на **рис. 3.5**.



Рис. 3.5. Монтаж обладнання на ПЛ під напругою

Для захисту від можливої дії електричного струму виконується низка захисних засобів, зокрема, підйомник з ізолювальною верхньою ланкою й ізоляційним кошиком. Крім того, руки робітників захищені ізолювальними рукавичками і нарукавниками. Від випадкового торкання проводу сусідніх фаз руки та тіло робітника захищені ізолювальними гнучкими шлангами. Для вирівнювання потенціалу використовуються ізольовані струмопровідні перемички.

Крім наведених вище засобів, мають бути такі, що унеможливають випадкове коротке замикання або замикання на «землю» у місці проведення робіт, а також випадковий розрив ланцюга під навантаженням.

На **рис. 3.6** наведено деякі види ізолювальних пристосувань, зокрема: ізолювальний шланг; ізолювальний килимок; універсальна ізолювальна штанга; телескопічна ізолювальна штанга; одноелементна ізолювальна штанга; вмикач струму навантаження з ізолюваним шлейфом.

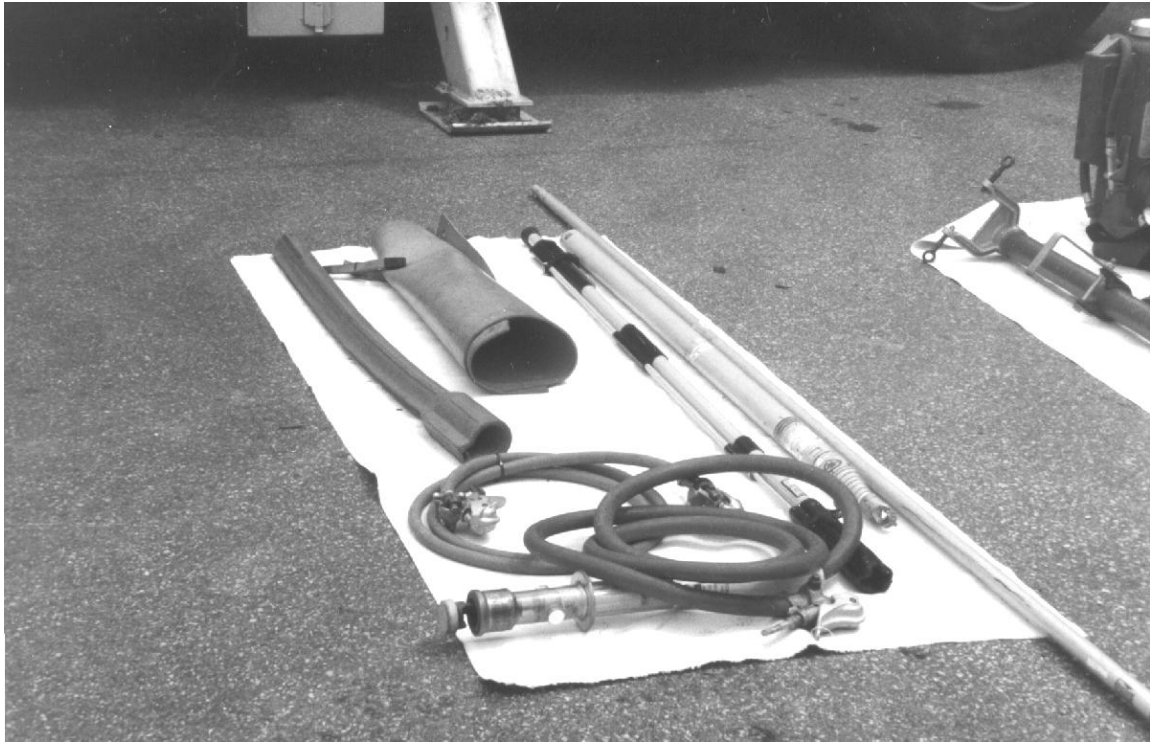


Рис. 3.6. Деякі види ізолювальних пристосувань для робіт під напругою

Розглянемо докладніше використання основних захисних пристосувань (ізолювальних шлангів, килимків, спіральних коробів, робочих площадок), а принципи виконання під напругою таких операцій, як включення і відключення струмів навантаження і з'єднання проводів, а також методи виконання найхарактерніших видів ремонтно-експлуатаційних робіт під напругою. Особливу увагу приділено «рукавичному» методу усунення замикання на землю в мережі з ізолюваною нейтраллю.

Розглянемо також приклади виконання найпоширеніших видів робіт ПРН – підключення новозбудованої ПЛ до діючої лінії 0,4 кВ та заміна дефектного ізолятора на ПЛ, а також ремонт роз'єднувача на опорі ПЛ 35 кВ.

3.2. Застосування лінійних шлангів і килимків

Гумові захисні пристосування використовуються під час роботи під напругою для огороження робочої зони. Вони встановлюються таким чином, щоб робітник мав змогу безпечно поводитись із струмопровідними частинами, і оточують робочу зону від електричних перекриттів.

Лінійні шланги, або довгі гумові труби з розрізом (рис. 3.7) – це пристрої для покриття проводів, відводів, спусків і заземлень. Губки виконано із самозащиплюванням, завдяки чому вони запобігають вислизанню шлангів і оголенню проводів. При накладанні шлангів монтер має розташовуватися таким чином, щоб його тіло було під проводом і при цьому руки були витягнуті над головою під час торкання проводу.

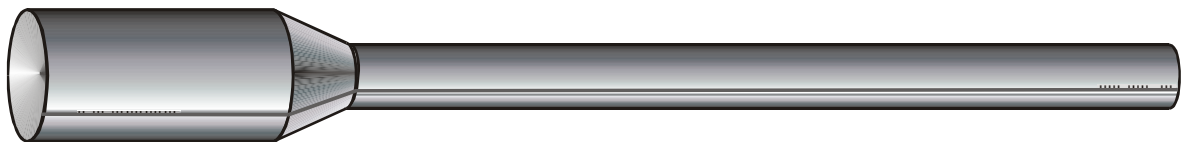


Рис. 3.7. Загальний вигляд лінійного ізолювального шланга

Під час установа лінійних шлангів слід підтримувати їх біля кінців, а, встановлюючи, підносити один кінець до проводу і притискати для проштовхування проводу в розріз; весь час натискаючи, зсувати шланг паралельно проводу, поки шланг не закрий усією довжиною відкритий провід.

Для видалення шланга з проводу потрібно притягти шланг до в'язки проводу або до іншої перешкоди, яка може запобігати обертанню шланга на проводі. Треба повернути шланг так, щоб розріз був у напрямі від працівника. Помістити обидві руки в діелектричних рукавичках на найближчий кінець шланга так, щоб одна рука була зверху, а інша – знизу шланга. Розсунути розріз і натягнути шланг на себе. Знімати потрібно спочатку далекі шланги, а потім ближні.

Описана процедура придатна в загальному випадку, коли провисання проводів нормальне. Коли же шланги були встановлені на проводах, які надто провисли, дуже важливо стежити за тим, як рухаються проводи. Не можна тягти провислі проводи, тому що це може призвести до їх контакту з іншими проводами.

Для окремих видів устаткування (гірлянд ізоляторів, опорних ізоляторів, роз'єднувачів, введів силових трансформаторів і вимикачів тощо) застосовуються тверді ізолювальні покриття, які можуть накладатися як безпосередньо руками в ізолювальних рукавичках, так і з використанням ізолювальних штанг. Як правило, тверді ізолювальні покриття мають спеціальні вузли для стикування з ізолювальними штангами і коробами.

Не у всіх випадках струмопровідні частини можна ізолювати жорсткими або гнучкими покриттями, тому що завжди є вироби чи арматура, які не можуть бути покриті шлангами. Прикладами такого обладнання є опори ізоляторів, роз'єднувачі, виводи трансформаторів тощо. Для повного захисту працюючого необхідно і їх закривати так само, як і проводи. У цьому разі найпридатнішим засобом захисту є гумові ізолювальні килимки (**рис. 3.8**).

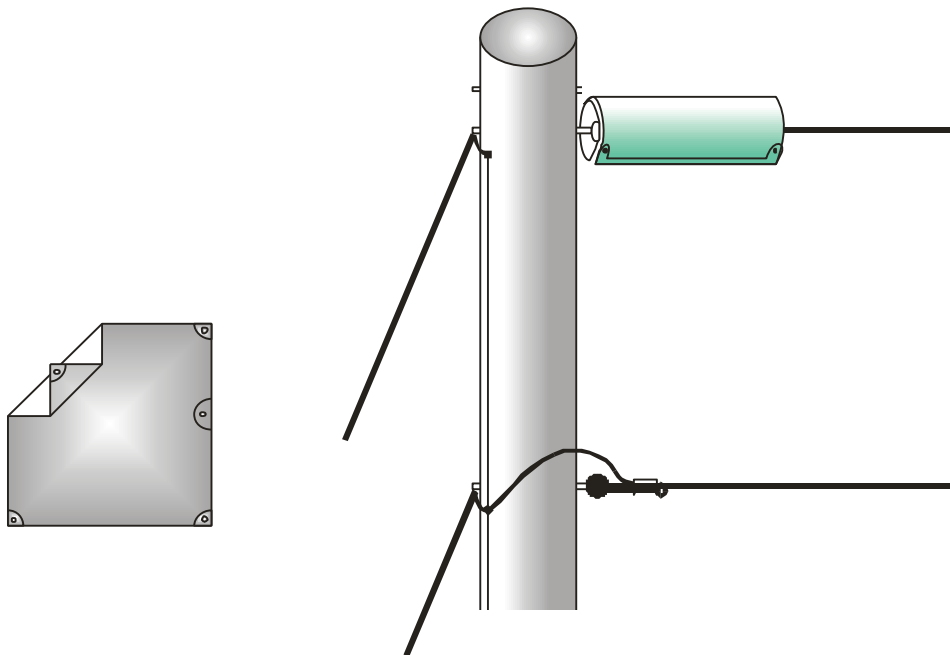


Рис. 3.8. Встановлення ізолювального килимка

3.3. Установлення твердого ізолювального покриття на провід

Тверді ізолювальні покриття – це ізоляційні лінійні короби, виготовлені з пластичних матеріалів. Зазвичай їхня довжина від 1,3 до 1,8 м. Ізолювальна міцність твердих покриттів вища, ніж ізолюючих шлангів і килимків, завдяки застосуванню відповідних матеріалів і конструкцій.

Тверді лінійні короби (рис. 3.9) використовуються для напруги до 35 кВ. Для того щоб по всій довжині короба мати клас ізоляції 35 кВ, на місце з'єднання коробів накладається додаткове ізоляційне покриття.

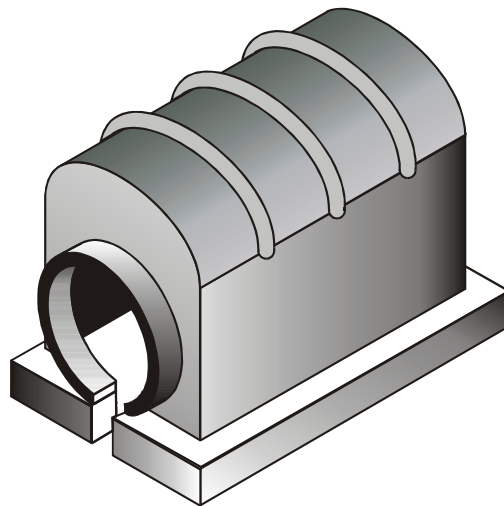


Рис. 3.9. Загальний вигляд твердого лінійного короба

Тверді ізоляційні короби випускаються з двома типами рукояток. Одні короби мають склопластикові рукоятки (використовуються з гумовими рукавичками), інші – ізоляційний короб, який використовується з універсальною штангою і гаком (рис. 3.10).

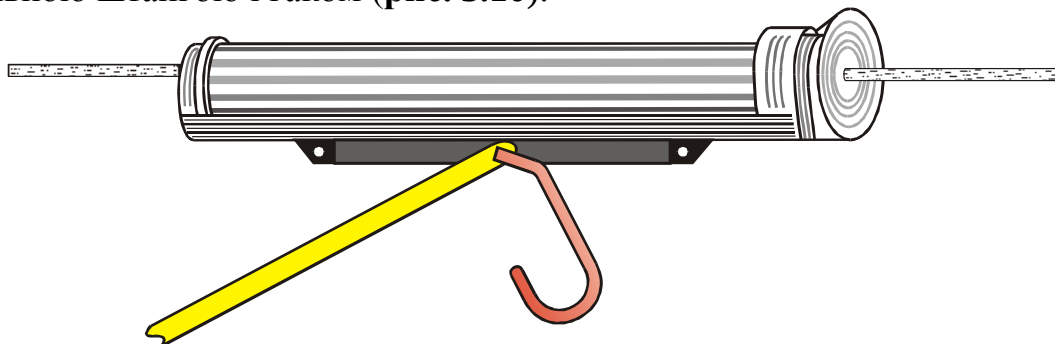


Рис. 3.10. Ізоляційний короб зі штангою і гаком

Установлення короба виконується у такій послідовності (**рис. 3.11**):

- розташувати твердий лінійний короб збоку над проводом, отвором донизу короба паралельно проводу;
- натисненням на короб і легким обертальним рухом просунути короб до себе і вниз поки провід не переміститься в положення *B*;
- підняти короб і зрушити убік так, щоб провід перемістився у положення *C*.

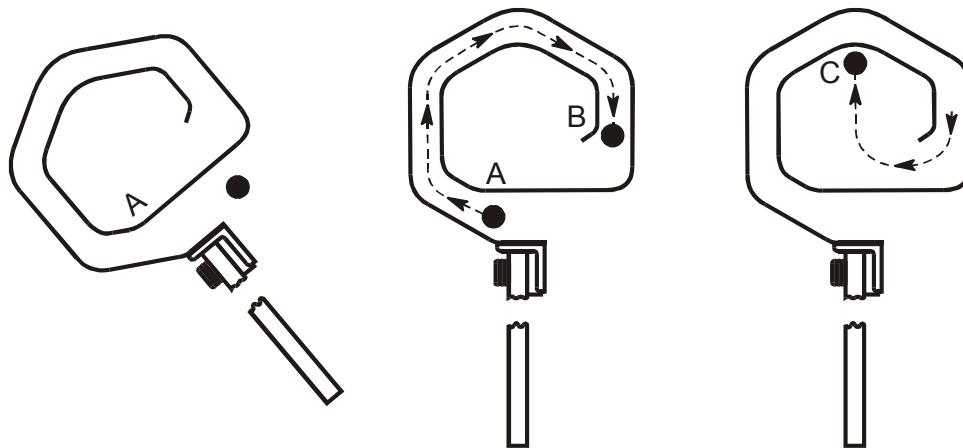


Рис. 3.11. Послідовність встановлення короба на провід

Тверді лінійні коробки можуть бути з'єднані таким чином, що при цьому вони одночасно будуть покривати штирові ізолятори, змонтовані на опорі чи траверсі. Для виконання цього один лінійний короб установлюється розеточним кінцем до ізолятора. Другий короб установлюється з іншої сторони ізолятора штировим кінцем до нього. Потім коробки стягуються разом над ізолятором до з'єднання (**рис. 3.12**).

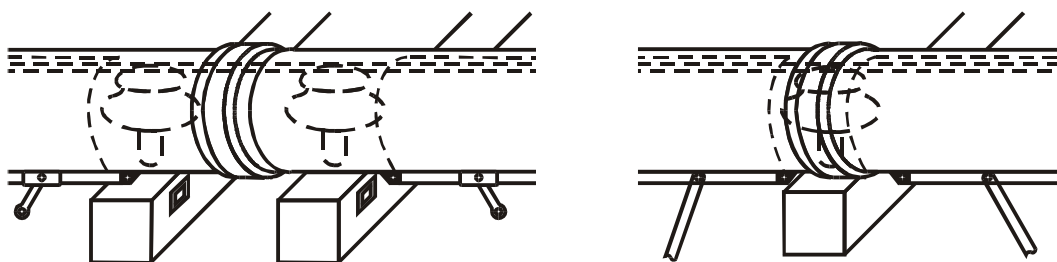


Рис. 3.12. З'єднання лінійних коробів

3.4. Установлення ізолювальної робочої площадки

Іноді устаткування розподільних мереж розташоване таким чином, що під'їзд до нього підйомників з ізолювальною стрілою створює певні ускладнення. За таких умов під час робіт на опорах часто доводиться користуватися ізолювальними площадками.

Ізолювальна площадка виготовляється зі склопластику завдовжки від 75 до 300 см і завширшки приблизно 30 см. У разі збирання площадки на землі її потрібно укласти на брезент для запобігання зіткненню з землею. На площадці дозволено розташовуватися тільки одній людині. Під час роботи під напругою потрібно використовувати рукавички і нарукавники (**рис. 3.13**).



Рис. 3.13. Робота під напругою із застосуванням ізолювальної площадки

У вітчизняній практиці застосовуються два типи площадок: стаціонарні, які жорстко фіксуються на опорі і тому не можуть повертатися, та поворотні, що мають вісь, яка дозволяє повертатися на 180 градусів.

Площадки кріпляться до опори швидкокороз'ємними ланцюговими стяжками. Поворотна площадка має знімну скобу, що може монтуватися на опорі окремо. Для забезпечення горизонтальності поверхні площадки використовуються підпірки, що кріпляться до низу площадки у напрямі до опори і встановлюються на ній за допомогою замка. Необхідний кут підпірок до осі опори встановлюється за допомогою ланцюга. Ланцюг проходить через отвір у підпірці поблизу замка і замикається на одній з ланок ланцюга. Верх площадки обладнаний двома парами стійок заввишки близько 60 см, що змонтовані по кінцях площадки.

У закордонній практиці застосовуються два основних типи навішення площадок на опори (**рис. 3.14**):

- площадка регульованого типу, коли не потрібна часта перестановка платформи;
- площадка поворотного типу, яка дозволяє розвертати платформу на 180° .



Рис. 3.14. Загальний вигляд площадок регульованого та поворотного типів

На робочу поверхню ізолювальної площадки інколи підсипають пісок для поліпшення стійкості лінійника під час роботи. Зазор між площадкою й опорою зменшує можливість нагромадження води у разі несприятливої погоди і забезпечує вільну зону між робочим місцем і опорою.

Площини кріпляться до опори швидкокороз'ємними ланцюговими стяжками. Поворотна площадка має знімну скобу, що може монтуватися на опорі окремо. Для забезпечення горизонтальності поверхні площадки використовуються підпірки, що кріпляться до низу площадки у напрямі до опори і встановлюються на ній за допомогою замка. Необхідний кут підпірок до осі опори встановлюється за допомогою ланцюга. Ланцюг проходить через отвір у підпірці поблизу замка і замикається на одній з ланок ланцюга. Верх площадки обладнано двома парами стійок заввишки близько 60 см, що змонтовані по кінцях площадки.

На **рис. 3.15** показано площадку, у якій використано канат для кріплення стійок і маленьку таль на кінці площадки з боку опори.

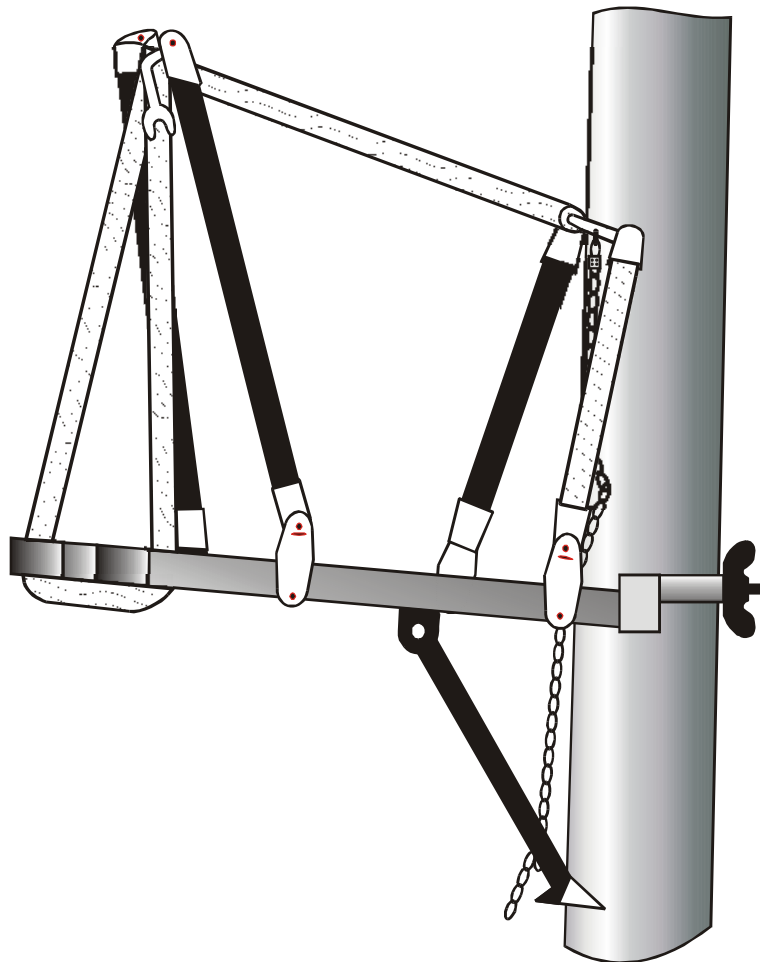


Рис. 3.15. Ізолювальна площадка із застосуванням канатів для кріплення

Ланцюг, що підтримує підпірку, проходить через площадку і приєднаний до нижніх блоків. Верхні блоки талі приєднано до кріплень стійки. Ланцюг завжди укріплений у точці проходу через площадку, тому не можна зрушити підпірку. Канат, що зв'язує дві перевернені V-образні стійки, створює не тільки жорсткість платформи, а і забезпечує місце для приєднання стропа безпеки лінійника.

Для підйому площадки канат треба прив'язати до опори на 120 – 150 см вище точки кріплення площадки. Канат прив'язують до площадки усередині стійок до кінця кріплення. Під час підйому площадка має висіти вертикально. При цьому її легко прикріпити до опори. Після завершення монтажу площадки на неї може підніматися електромонтер. Підніматися опорою слід з однієї сторони площадки, поки ноги не опиняться над площадкою, потім повернутися навколо опори і перейти на площадку. Після виходу на площадку строп монтерського пояса кріпиться до поручнів площадки.

3.5. Приклади робіт ПРН в електричних мережах 0,4 – 35 кВ

Роботи на ПЛ до 1 кВ. Виконання робіт під напругою на лініях низької напруги передбачає ізоляцію усіх струмовідних частин, крім ділянки, де ведеться робота. При цьому застосовуються інструменти з ізольованими рукоятками, електромонтери виконують роботи в ізолювальних рукавицях, нарукавниках, нагрудниках, а при деяких роботах – в ізолювальних костюмах та захисних окулярах [7].

На повітряних лініях до 1 кВ під напругою може бути виконано практично всі види ремонтно-експлуатаційних робіт. Серед них методом роботи в контакті виконуються:

- заміна ізоляторів на проміжних, анкерних, кутових і кінцевих опорах;
- заміна в'язок (кріплень) проводів;

- накладання бандажу на пошкоджені жили;
- заміна (монтаж) вводів в будівлі;
- підключення ПЛ та відгалужень до ПЛ;
- заміна (установка) шлейфів та гаків;
- підтяжка контактних затискачів;
- ремонт заземлювальних спусків, контурів заземлення та занулення;
- перетяжка проводів в прольоті ПЛ;
- монтаж (установка) світильників зовнішнього освітлення на опорі з приєднанням до ПЛ.

Під час проведення всіх перерахованих вище робіт електромонтеру необхідно торкатися проводів та ізоляторів, що знаходяться під напругою, тому в міру підйому на опору електромонтер накладає ізолювальні ковпаки на ізолятори, ізолювальні накладки на проводи, а при необхідності – на гаки і траверси. При цьому монтаж ізолювальних накладок при підйомі завжди починають з нижніх проводів, не втрачаючи з поля зору найближчі оголені проводи (**рис. 3.16**), а під час спуску демонтують ізолювальні ковпаки та накладки в зворотній послідовності.

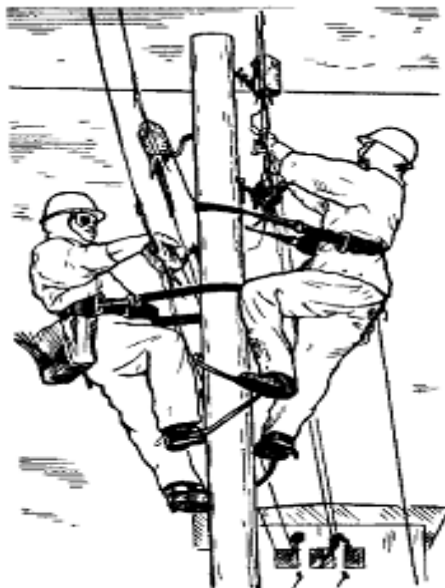


Рис. 3.16. Послідовна ізоляція проводів знизу вгору

Розглянемо послідовність виконання зазначених вище операцій на прикладі двох видів робіт: підключення новозбудованої ПЛ до діючої лінії напругою 0,4 кВ та заміна дефектного ізолятора.

При підключенні нової ПЛ проводи останньої треба закріплювати на ізоляторах кінцевої анкерної опори. Перед початком підключення проводять вимірювання опору ізоляції всіх фаз нової ПЛ, при цьому від лінії слід від'єднати все навантаження. Опір ізоляції лінії має бути не менш ніж 0,5 МОм.

Після виміру ізоляції електромонтер підіймається на опору і послідовно накладає ізолювальні накладки на проводи та ковпаки на ізолятори, закріплює їх затискачами. Якщо на опорі є проводи радіомережі, то електромонтер повинен ізолювати проводи й ізолятори цієї мережі і лише після цього продовжити підйом до проводів ПЛ 0,4 кВ.

Ізолювальні ковпаки та накладки можуть бути подані електромонтеру з землі за допомогою ізолювального каната. Тим же канатом електромонтеру подають ізолятори, які він монтує на опорі нової ПЛ. За допомогою ізолювального канату електромонтер піднімає із землі кінець одного проводу нової лінії на опору і приєднує його до верхнього ізолятора, після чого накладає ізолювальну накладку на провід і ковпак на ізолятор.

Таким самим чином піднімають і підключають інші проводи в послідовності «згори-вниз».

Електромонтер на опорі визначає нульовий провід серед проводів діючої ПЛ і, знявши ізолювальний ковпак з ізолятора та зсунувши накладку з цього проводу, з'єднує проводи нової та діючої ПЛ. Безпосередньо після підключення до діючої ПЛ ізолюються кожен провід, шлейф та ізолятор.

При заміні дефектного ізолятора електромонтер підіймається на опору ПЛ і в такій самій послідовності, як при підключенні нової лінії, ізолює проводи й ізолятори. Після цього електромонтер знімає ковпак з дефектного ізолятора, звільняє від ізоляції проводи, демонтує в'язку і переводить провід на попередньо ізолюваний гак за допомогою ізолювальної штанги.

Якщо дефектний ізолятор перебуває на кутовій або кінцевій опорі, то до демонтажу в'язки, слід виконати резервне кріплення проводу, яке буде забезпечувати необхідний його натяг в період заміни ізолятора. З цією метою на опорі кріплять монтажні затискачі та натягують провід. Після того як дефектний ізолятор звільняється від проводу, його демонтують і ставлять новий ізолятор. Електромонтер виконує в'язку на новому ізоляторі, а потім демонтує ізолювальні ковпаки та накладки.

Всі зазначені вище роботи на ПЛ 0,4 кВ можна виконувати з кабіни підйомника з ізолювальною ланкою за схемою «провід – ізоляція – людина – ізоляція – земля». Застосування підйомників та телескопічних вишок дозволяє збільшити продуктивність праці і створює більш комфортні умови роботи для електромонтерів.

Роботи ПЛ 35 кВ. Як приклад роботи із застосуванням ізолювальних штанг розглянемо технологію ремонту роз'єднувача з механічним приводом, встановленим на опорі ПЛ 35 кВ (рис. 3.17).



Рис. 3.17. Ремонт роз'єднувача на опорі ПЛ 35 кВ

Передусім необхідно шунтувати роз'єднувач для забезпечення роботи лінії при його розмиканні. Шунтування фаз лінії виконується за допомогою спеціальних кабелів, які підтримуються ізолювальною тягою. Кабелі приєднуються до проводів ПЛ ізолювальними штангами-маніпуляторами.

Після накладання шунтів розмикають контакти роз'єднувача, від'єднують спуски від проводів і таким чином забезпечують безпечну зону для виконання ремонтних робіт. Далі на усі проводи фаз і на натяжні гірлянди ізоляторів за допомогою штанг накладають ізолювальні накладки. Це дозволяє електромонтерам піднятися безпосередньо до роз'єднувача і при виконанні необхідних операцій і пересувань уникнути випадкового контакту з частинами лінії, що знаходяться під напругою.

Характерні моменти роботи електромонтерів з обслуговування електричних мереж під робочою напругою показано на **рис. 3.18**.



Рис. 3.18. Робота електромонтерів на ПЛ 20 кВ, що перебуває під робочою напругою

Висновки

Проаналізовано методики та технології виконання робіт під робочою напругою в електричних мережах 0,4 – 35 кВ. Наведено особливості використання спеціального обладнання для забезпечення безпечного виконання робіт в електричних мережах різних класів напруги. Показано відмінності в організації зазначених робіт на ПЛ різних класів напруги. Наведено приклади виконання робіт під напругою в розподільних електричних мережах.

Завдання для самоперевірки

1. Дайте характеристику «штанговому» методу виконання робіт ПРН.
2. Наведіть особливості виконання робіт ПРН методом «голих рук».
3. Проаналізуйте особливості виконання робіт ПРН «рукавичним» методом.
4. Охарактеризуйте призначення основних ізолювальних пристосувань для здійснення робіт під напругою в електричних мережах 0,4 – 35 кВ.
5. Назвіть найхарактерніші види робіт ПРН в розподільних електричних мережах.
6. Порівняйте методи доставляння електромонтерів до місця робіт.

РОЗДІЛ 4

ВИКОНАННЯ РОБІТ ПІД РОБОЧОЮ НАПРУГОЮ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ 110 – 750 КВ

Мета викладеного у розділі матеріалу:

- ознайомлення з особливостями та послідовністю організації підготовчого етапу до виконання робіт під робочою напругою в електричних мережах 110 – 750 кВ;
- дослідження технологій доставляння та розміщення електромонтерів безпосередньо на місці виконання робіт;
- дослідження особливостей здійснення найпоширеніших видів робіт під робочою напругою на повітряних лініях електропередачі та електроустановках знижувальних підстанцій.

4.1. Загальні положення. Організація підготовчого етапу

Згідно з чинними нормативними документами [6, 8] роботи на ПЛ напругою 110 – 750 кВ виконуються за такими схемами:

- «провід – людина – ізоляція – земля», коли працівник, який виконує роботу, перебуває під потенціалом струмовідних частин та елементів ПЛ, що знаходяться під напругою, і ізольований від землі;
- «провід – ізоляція – людина – земля», коли працівник, який виконує роботу, ізольований від струмовідних частин та елементів ПЛ, що знаходяться під напругою (у цьому разі працівники можуть розташовуватись на поверхні землі чи на заземлених конструкціях опор ПЛ);
- «провід – ізоляція – людина – ізоляція – земля», коли працівник, який виконує роботу, ізольований від струмовідних частин та елементів ПЛ, які знаходяться під напругою.

В електричних мережах 110 – 150 кВ передбачено виконувати такі види робіт під напругою:

- заміна гірлянд ізоляторів або окремих ізоляторів у підтримувальних і натяжних ізолювальних підвісках проводів, підсилення ізоляції;
- заміна одноланцюгових натяжних ізолювальних підвісок на дволанцюгові;
- заміна та ремонт арматури, підтримувальних і натяжних затискачів у ізолювальних підвісках проводів;
- заміна та ремонт захисної лінійної арматури;
- ревізія та ремонт проводів;
- зняття накидів із проводів;

- установлення на опорах ПЛ пристроїв для відлякування птахів;
- установлення міжфазних розпірок тощо;
- заміна шлейфів.

До найпоширеніших видів робіт, які можуть виконуватися методом ПРН на лініях електропередачі та в електроустановках високої і надвисокої напруги, належать наведені нижче.

На **опорах ПЛ** напругою 220 – 750 кВ:

- ремонт і заміна деталей верхньої частини ізолювальної підвіски проводу проміжної опори ПЛ;
- ревізія проводів у затискачах підтримуючих ізоляційних підвісок;
- ремонт або заміна елементів підтримуючих гірлянд;
- роботи із заміни елементів натяжних гірлянд ПЛ;
- заміна гірлянд ізоляторів або окремих одиничних ушкоджених ізоляторів у гірлянді на проміжних і анкерних опорах;
- ремонт ізолювальної підвіски проводів ПЛ напругою 220 – 750 кВ із виходом на потенціал проводу.

На блискавкозахисних **тросах ПЛ** напругою 220 – 750 кВ:

- ремонт ізолювальної підвіски блискавкозахисного троса ПЛ;
- ремонт проводів і блискавкозахисного троса в прогоні ПЛ;
- зняття накидів, змащення блискавкозахисного троса.

На **проводах ПЛ** напругою 220 – 750 кВ:

- ревізія або ремонт дистанційних розпірок розщеплених проводів;
- ремонт проводів і блискавкозахисного троса в прогоні ПЛ.

Роботи ПРН в **розподільних установках** напругою 220 – 750 кВ:

- усунення пошкоджень проводів ошинування відкритих розподільних установок;
- заміна гірлянд ізоляторів або окремих одиничних ушкоджених ізоляторів у гірлянді на порталах відкритих розподільних установок.

Для індивідуального захисту працівників від дії ЕП застосовуються індивідуальні екранувальні комплекти.

Роботи під напругою на ПЛ 110 – 750 кВ дозволяється виконувати за таких атмосферних умов:

- температура повітря – від мінус 20 °С до плюс 40 °С;
- відносна вологість повітря – не більша за 90 % (у разі використання поліпропіленових канатів) або не більша за 98 % (у разі використання ізолювальних канатів із атмосферостійким захисним покриттям);
- швидкість вітру – не більша ніж 10 м/с.

Заборонено виконувати роботи під час дощу та снігу, за наявності туману та інею, ожеледі на опорах і проводах ПЛ, а також у разі наближення грози.

Піднімати обладнання та пристрої на траверсу та опускати їх потрібно за допомогою нескінченного канату. При використанні ізолювального канату останній не повинен торкатися струмопровідних частин ПЛ.

Як зазначалося вище, усі роботи в електроустановках під напругою виконуються тільки за нарядом, у якому визначаються місце, час, умови виконання робіт та склад бригади. Особливістю робіт ПРН у мережах високої і надвисокої напруги є обов'язкове керівництво роботами з боку керівника робіт ПРН, про що зазначається в наряді. До наряду додається типова технологічна карта на виконання робіт, а у разі робіт на нетипових опорах у місцях перетинань зі спорудженнями й іншими ПЛ у важкодоступній місцевості необхідно видавати проект виконання робіт, підписаний керівником робіт і особою, що видала наряд. Необхідність виконання цього проекту визначає особа, що видає наряд.

Для кожного конкретного виду робіт ПРН складаються технологічні карти [11], які мають відповідати вимогам інструкцій на проведення робіт ПРН з урахуванням конструктивних особливостей ПЛ (або розподільної установки), особливостей траси ПЛ, наявності перетинань з іншими спорудами та лініями електропередачі тощо. Послідовність дій персоналу після одержання наряду має бути ретельно сплановано.

Підготовчі роботи починаються з оцінювання можливості виконання робіт ПРН керівником і виконавцем робіт. Проводиться ретельний огляд ПЛ (або ошиновування відкритої розподільної установки).

Особливу увагу приділяють стану кріплення опор (порталів), оцінюють відстані від проводів до тіла опори і сусідніх фаз. Далі ретельно перевіряють стан ізоляторів. Визначають (візуально) кількість ушкоджених ізоляторів.

Роботи ПРН на ПЛ 110 – 500 кВ дозволено виконувати за умови, що кількість неушкоджених і не зашунтованих ізоляторів в ізолювальній підвісці становить не менше ніж 70 % загальної кількості в ланцюгу, а на ПЛ 750 кВ – за наявності не більше п'яти дефектних ізоляторів в одному ланцюгу ізолювальної підвіски.

Якщо гірлянда має керамічні ізолятори, то визначають наявність дефектних ізоляторів у гірляндах за допомогою вимірної штанги. Якщо для ремонту проводів, ревізії або заміни розпірок потрібно буде виконувати переміщення по проводах, та усіх прогонах, де будуть виконуватись роботи, перевіряють стан проводів для визначення можливості переміщення по проводах у візку. Звертається увага на можливі зміни відстані від проводу до інших споруд або поверхні землі, зважаючи на додаткове провисання проводу під впливом маси візка з монтером. Визначаються погодні та кліматичні умови, після чого готують загальний висновок про можливість проведення робіт ПРН.

Далі організовують взаємодію з диспетчером. Приступати до робіт під робочою напругою можна тільки з дозволу диспетчера, під оперативним керуванням якого перебуває електроустановка. Дозвіл на виконання робіт видається по радіозв'язку або іншим видом зв'язку, що має бути в постійній готовності. За необхідності, проводиться виконання режимних заходів. Такі заходи диспетчер виконує відповідно до поданих заявок, після чого дає дозвіл на проведення робіт. Одержавши дозвіл від диспетчера, керівник робіт має право приступати до допуску бригади.

Перш за все, керівник робіт проводить ретельний інструктаж бригади щодо порядку виконання робіт ПРН. При цьому зазначаються завдання і дії особисто кожного члена бригади, називається і зазначаються конкретне місце кожного під час виконання робіт, звертається увага на особливо небезпечні операції, зазначається порядок контролю персоналу за дією один одного. Наприкінці інструктажу керівник повинен перевірити, чи знають члени бригади, як і за яким порядком мають виконуватися роботи. Керівник і виконавець робіт оформлюють допуск до роботи.

Тільки переконавшись у готовності та можливості здійснення робіт ПРН, керівник запитує дозвіл на виконання робіт у диспетчера, в оперативному керуванні якого перебуває лінія електропередачі або розподільний пристрій. Лише після одержання дозволу диспетчера керівник допускає бригаду до ПРН.

Ці підготовчі організаційні дії є обов'язковими, від їх ретельного виконання істотною мірою залежить безпека виконання всієї роботи [11].

Підготовчі технічні дії. Для безпосередньої підготовки робочого місця слід виконати низку технічних заходів. Ці заходи приблизно однакові, але є і деякі відмінності, пов'язані зі специфікою кожного конкретного виду робіт.

Перед початком робіт керівник робіт доручає членам бригади підготувати до огляду інструменти і пристосування, вийняти їх з машини, перевірити і розкласти на брезентовому полозі поблизу опори.

Як приклад, загальний вигляд комплекту спеціальних інструментів і пристосувань для проведення робіт ПРН в електроустановках напругою 330 кВ наведено на **рис. 4.1**.

До комплекту оснащення, зокрема, входить заземлення для зняття ємнісного заряду. Заземлення встановлюється на ізоляторах підтримуючої гірлянди. На багатоланцюгових гірляндах встановлюють по одному заземленню на кожній гірлянді. При цьому на кожній гірлянді заземлюють однаковий за рахунком від траверси ізолятор.

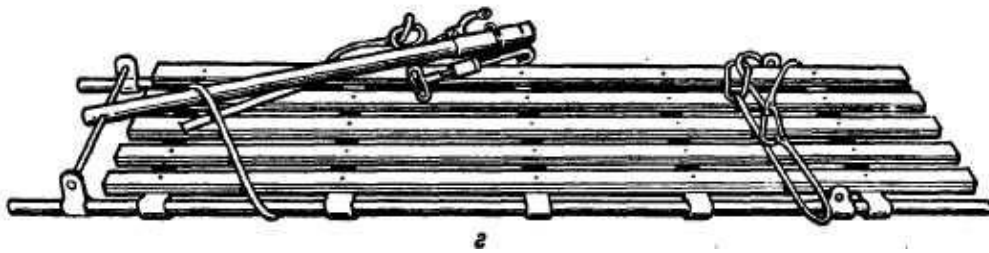


Рис. 4.1. Комплект пристосувань для проведення робіт ПРН в електроустановках напругою 330 кВ

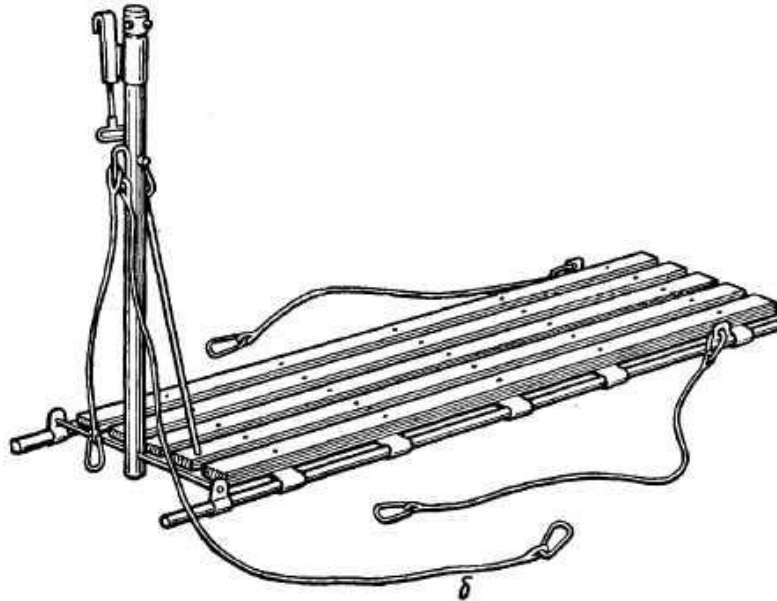
Після установа заземлення ізоляційну штангу кріплять до траверси за допомогою лямок, прикріплених до рукоятки штанги.

Після виконання дій щодо заземлення допускається дотик до ізоляторів, що знаходяться між траверсою і місцем установки заземлення. Дотик допускається виконувати безпосередньо в рукавичках екрануючого костюма. Застосування заземлень унеможливорює розряди і стікання ємнісного струму через тіло працюючого і тим набагато полегшує виконання ПРН.

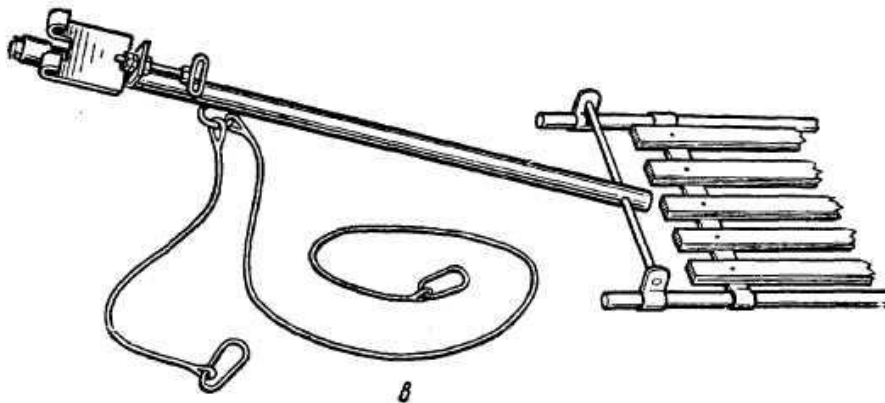
Для доставляння на опору чи траверсу ПЛ необхідних пристосувань використовують спеціальний трап (**рис. 4.2**), який за допомогою захоплювачів закріплюють за кутник траверси.



а) транспортне положення трапу



б) трап у розгорнутому робочому стані



в) трап у стадії розгортання (показані капронові фали та поворотний стояк з голівкою)

Рис. 4.2. Спеціальний трап для доставки на опору чи траверсу необхідних пристосувань

Для підйому на опору інструмента і пристосувань використовують нескінченний канат (капроновий канат діаметром 10 мм, заправлений у два однорічкових блоки). Один блок оснащено спеціальним захоплювачем для закріплення на траверсі, а інший – штирем або спеціальним якорем для закріплення в ґрунті. Нескінченний канат на опорі піднімають за допомогою допоміжного капронового каната діаметром 10 мм, оснащеного з обох кінців карабінами. В процесі виконання роботи з переміщенням траверсою використовують страхувальні канати, виготовлені з капронового каната діаметром 10 мм із прикріпленими до нього карабінами.

Крім загальнобригадного, кожен монтер має свій комплект інструментів, призначений для роботи безпосередньо на арматурі гірлянд або на ізоляторах. Комплект розміщений у сумці з екранувального матеріалу. До цих інструментів прикріплюють страхувальні лямки, призначені для вдягання на кисті електромонтера з метою унеможливлення падіння інструментів, якщо працюючий випадково випустить їх з рук. Для розміщення інструментів і пристосувань, з метою запобігання їх забруднення, використовують полог, виготовлений з брезенту або іншого щільного матеріалу площею 8 – 12 м².

4.2. Способи доставляння електромонтера до місця виконання робіт

Спосіб доставляння електромонтера до місця проведення робіт визначають з огляду на забезпечення безпеки працівників і мінімуму трудовитрат на реалізацію обраного способу [8] .

Проміжні опори та прольоти ПЛ

Схему доставляння електромонтера до проводу ПЛ 110 кВ на залізобетонних опорах за допомогою відкотної балки наведено на **рис. 4.3**, на якому позначено: ППК1 – відкотна балка; КК1 – кріплення відкотної балки;

БНК – блок нескінченного канату; ТМУ – трап для монтажу; ДП – драбина приставна ІП1, ІП2, ІП3, ІП – ізолятори полімерні; ЗП – захвати за провід; БП – блок підвісний; ЗГ – захвати гвинтові; МС – монтерське сидіння; П4, П8, ВП – канати поліпропіленові; НК – нескінченний канат.

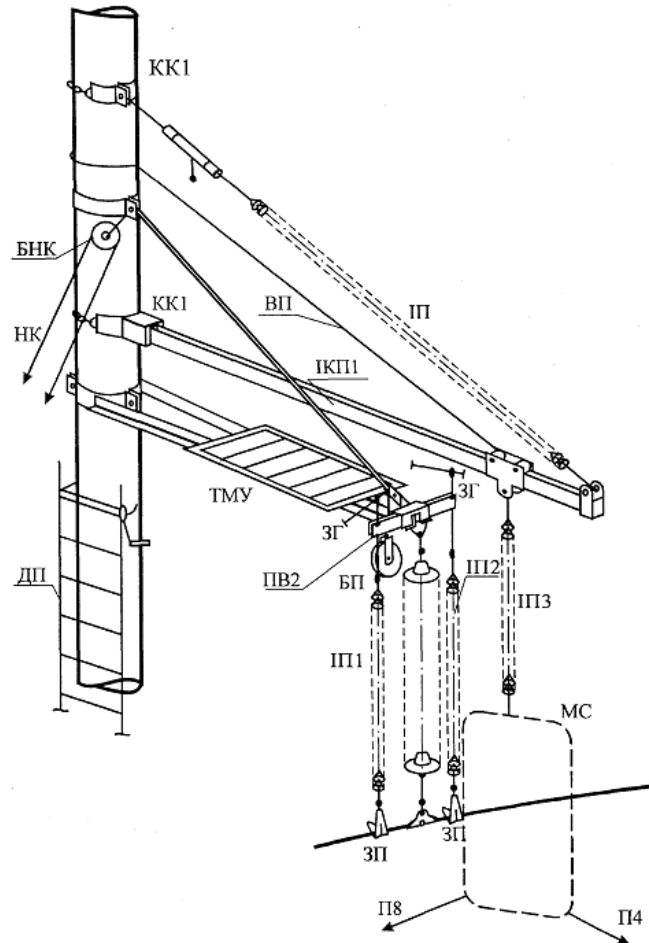


Рис. 4.3. Схема доставляння електромонтера до проводу ПЛ 110 кВ на залізобетонних опорах за допомогою відкотної балки

Доставляння електромонтера цим способом провадять за допомогою монтерського сидіння, підвішеного на полімерному ізоляторі та яке може пересуватися поліпропіленовими канатами вздовж відкотної балки, яку нерухомо кріплять на опорі та орієнтують у бік проводу.

Спосіб дає змогу пересуватись тільки у фіксованому напрямку та виконувати роботу безпосередньо на проводі ПЛ незалежно від кріплення ізолювальної підвіски і проводу.

Схему доставляння електромонтера до проводу ПЛ у підвісному монтерському сидінні з поверхні землі наведено на **рис. 4.4**, на якому позначено: ІП1, ІП2, ІП3, ІП4 – ізолятори полімерні; П1, П2, П3, П4 – канати поліпропіленові; Б1, Б2, Б3, Б4 – блоки опорні; БП – балка приймальна; БМ – блок монтажний; НК – нескінченний канат; РВ – ролик відвідний; ЛР – лебідка ручна; МС – монтерське сидіння; ДІ – драбина ізолювальна; ЗП – захват за провід.

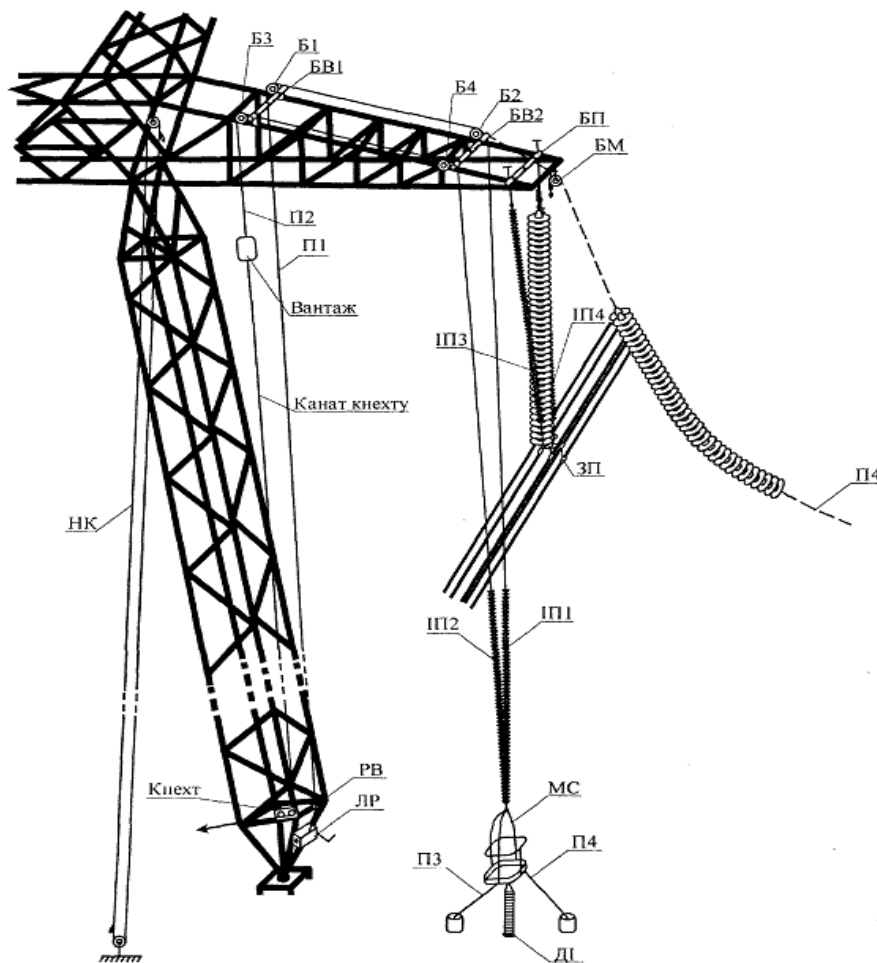


Рис. 4.4. Схема доставляння електромонтера до проводу ПЛ у підвісному монтерському сидінні

Доставляння електромонтера до проводу ПЛ провадять з поверхні землі за допомогою ручної лебідки, установленної внизу стояка опори ПЛ, ізолювальних канатів, системи блоків з ізолювальними роликами і полімерного ізолятора, закріпленого на підвісному монтерському сидінні.

Цей спосіб застосовують на опорах ПЛ, конструкція яких не забезпечує розмірів повітряного проміжку «провід – стояк опори», необхідного для застосування способу «маятник», опис якого наведено нижче.

Схему доставляння електромонтера на ПЛ способом «маятника» наведено на **рис. 4.5.**, на якому позначено: НК – нескінченний канат; БНК – блок нескінченного канату; БВ – блок відвідний; Л1 – ланцюг; ПП1 – гірлянда ізоляторів полімерних; П1, П2, П4 – канати поліпропіленові; МС – монтерське сидіння.

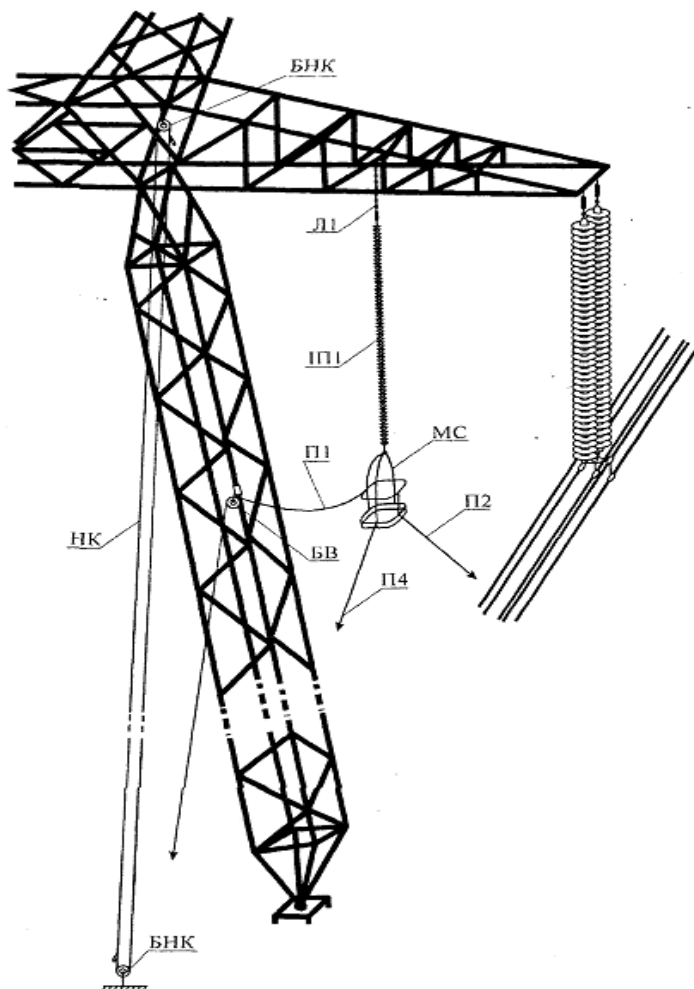


Рис. 4.5. Схема доставляння електромонтера на ПЛ способом «маятника»

Доставляння електромонтера цим способом провадять за допомогою монтерського сидіння, підвішеного до траверси на полімерному ізоляторі.

Цей спосіб застосовують на ПЛ 500 кВ і вище.

Схему доставляння електромонтера до проводу ПЛ за допомогою відтяжного ізолятора наведено на **рис. 4.6**, на якому позначено: ДА – драбина алюмінієва; ПЛС – поліспаст; П1-П7 – канати поліпропіленові; ПНК – поліпропіленовий нескінченний канат; ЗК – зачіп за кутник; МС – монтерське сидіння; ІП1, ІП2, ІП3 – ізолятори полімерні; БО1 – блок опорний; СВМ – стілець-візок монтерський; Б1, Б2 – блоки монтажні.

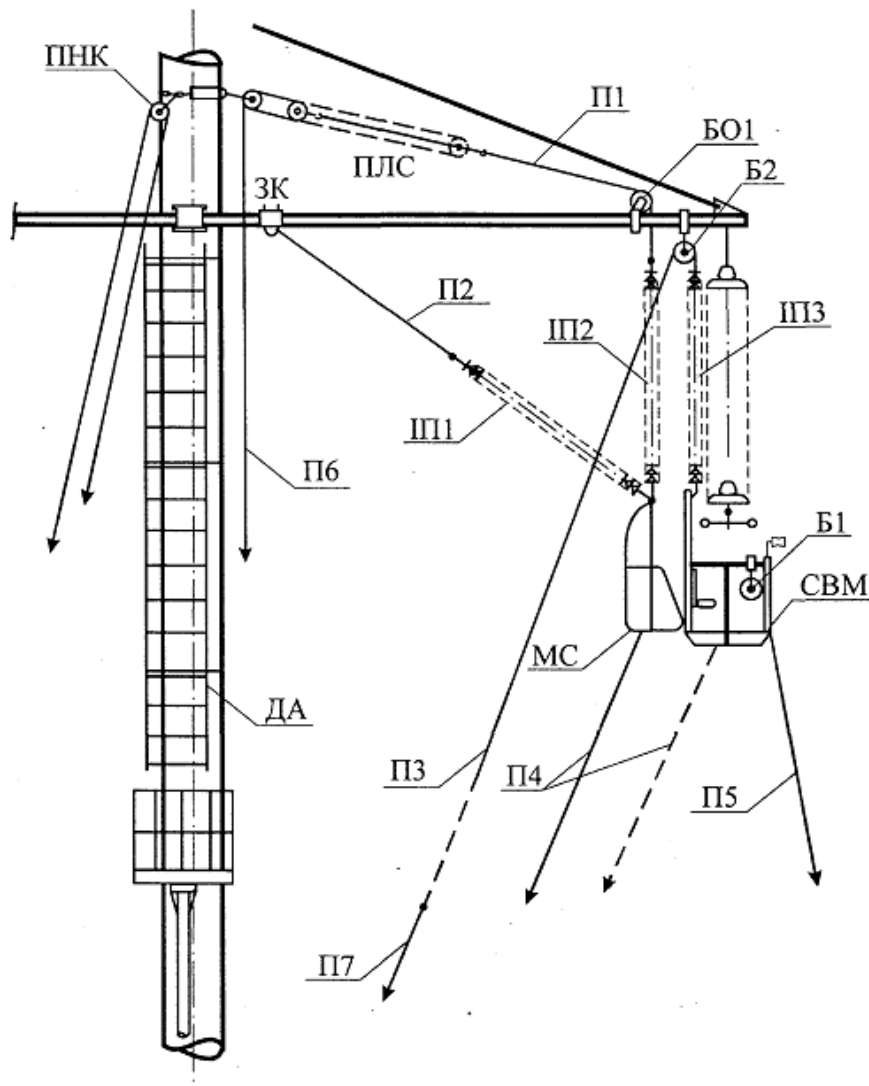


Рис. 4.6. Схема доставляння електромонтера на ПЛ за допомогою відтяжного ізолятора

Спосіб застосовують під час ремонту V-образних підвісок проміжних опор ПЛ 500 кВ, а також ремонту шлейфу.

Анкерні опори ПЛ

Схему доставляння електромонтера за допомогою монтерського сидіння та ізолювальної поворотної консолі наведено на **рис. 4.7**, на якому позначено: КП – консоль ізолювальна поворотна; ОС – огороження сітчасте; ПНК1, ПНК2 – поліпропіленові нескінченні канати; МС – монтерське сидіння; ІП1, ІП2 – ізолятори полімерні; ЗУК – зачіп; ЗП – захват за провід; ДГ – домкрат гвинтовий.

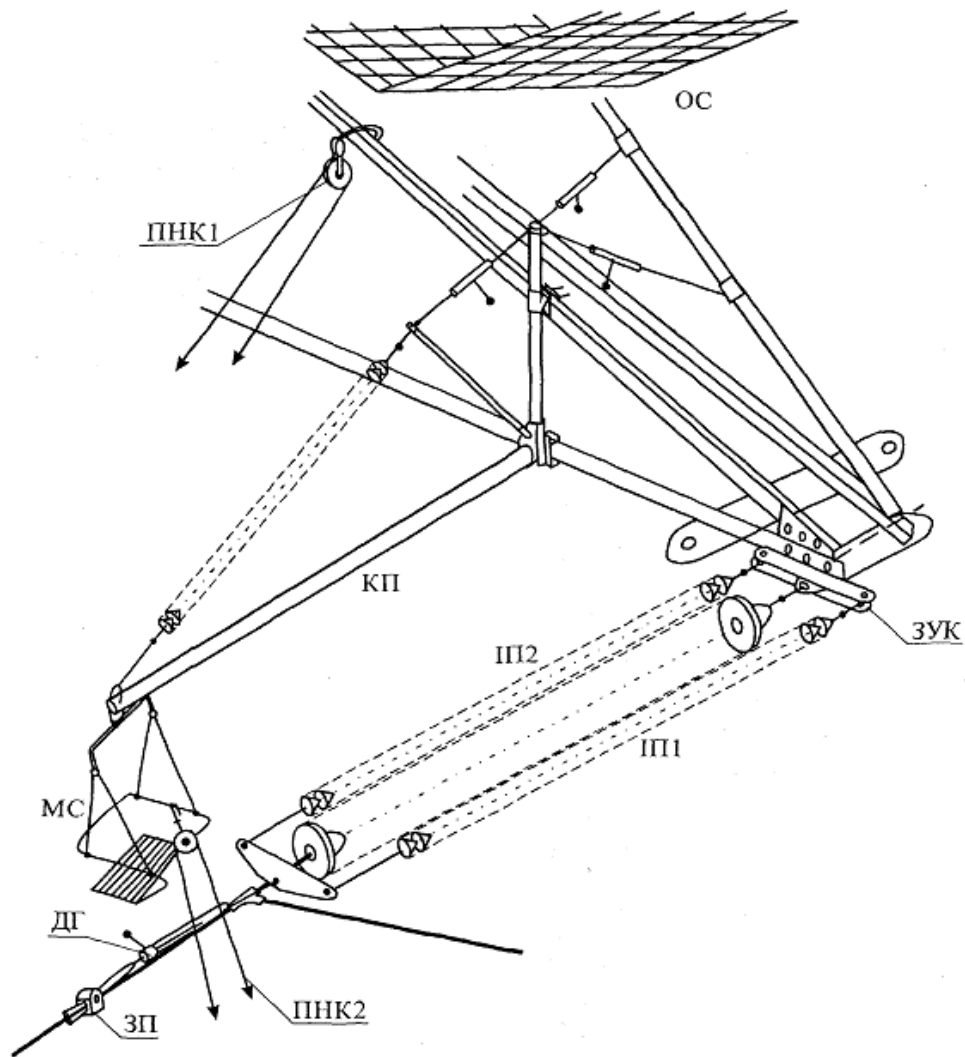


Рис. 4.7. Схема доставляння електромонтера за допомогою монтерського сидіння та ізолювальної поворотної консолі

Під час застосування цього способу перед подаванням консолі на траверсу за допомогою штанги-габаритника визначають місце її встановлення.

Далі поворотну консоль подають на траверсу опори ПЛ та монтують уздовж траверси.

Електромонтер пересідає з траверси в монтерське сидіння та за допомогою ізолювальних канатів, які натягуються з поверхні землі, підводиться до струмопровідних частин ПЛ.

Цей спосіб також застосовують під час ремонту шлейфів на ПЛ 110 кВ за схемою, яку наведено на **рис. 4.8**. На схемі позначено: КПП – поворотна консоль; ПП – полімерний ізолятор; МС – монтерське сидіння; БМ – блок для монтажу; П7 – канат поліпропіленовий; ЗК – зачепи за кутник; ППТ – прилад для підсилювання траверси ПЛ; БНК – блок нескінченного канату; НК – нескінченний канат.

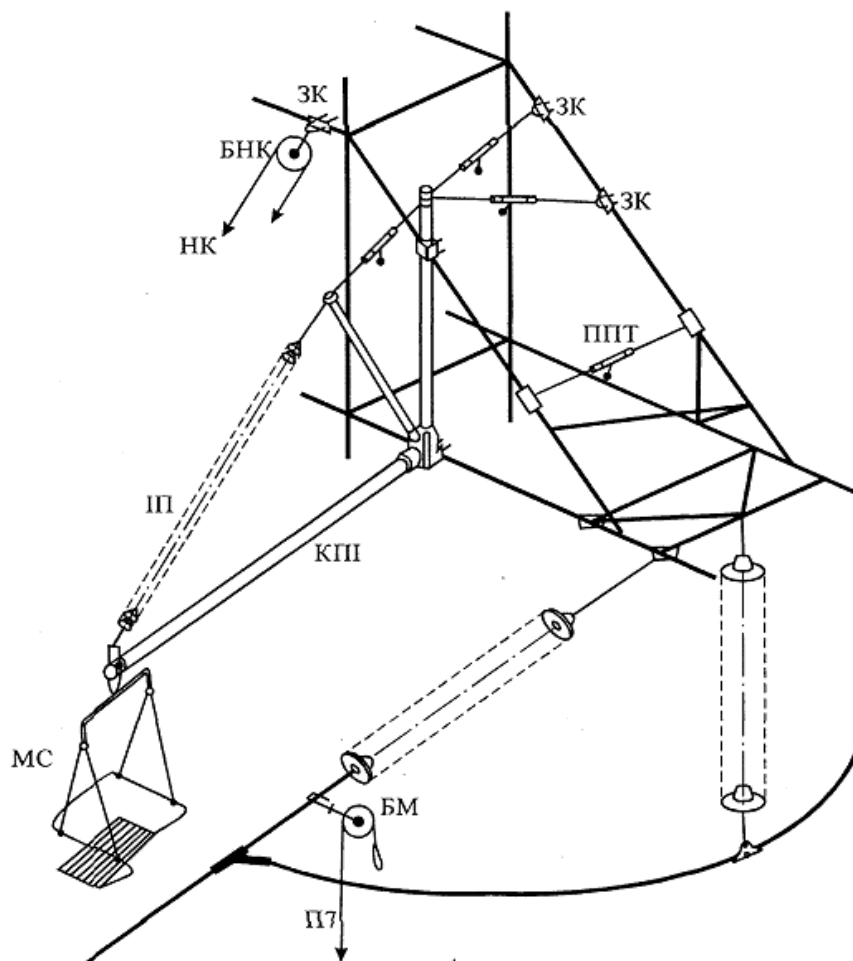


Рис. 4.8. Схема розміщення електромонтера під час ремонту шлейфів на ПЛ 110 кВ

Схему доставляння електромонтера за допомогою поворотно-відкотної балки наведено на **рис. 4.9**, на якому позначено: ОС – огороження сітчасте; Т – трап; ПVB – поворотно-відкотна балка; ЗУК – зачіп; РІ – рама ізоляційна; ІП1, ІП2 – ізолятори полімерні; МС – монтерське сидіння; ЗП – захват за провід; ПНК1, ПНК2 – поліпропіленові нескінченні канати.

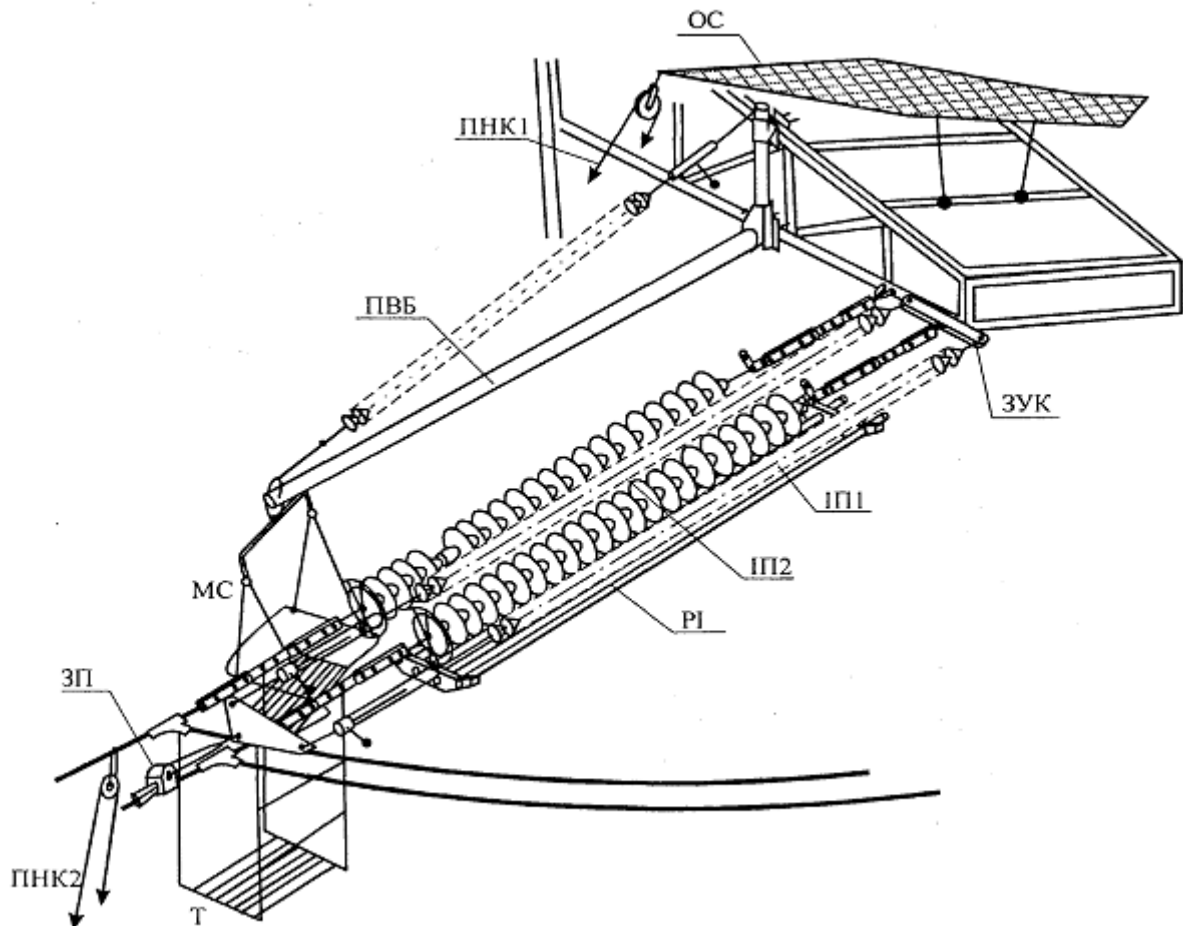


Рис. 4.9. Схема доставляння електромонтера за допомогою поворотно-відкотної балки

Доставляння електромонтера виконують у монтерському сидінні. Відкотна балка має два ступені свободи, що дозволяє пересуватись у горизонтальній та вертикальній площинах.

Схема характеризується підвищеною безпекою та застосовується під час ремонту під напругою елементів ПЛ 110 та 220 кВ.

Схему доставляння електромонтера в спеціальному сидінні, яке встановлюють над ізолювальною підвіскою, наведено на **рис. 4.10**, на якому позначено: БС – блок страхувального канату; П1-П4 – канати поліпропіленові; БП1-БП3 – підвісні блоки; ППН – пристрій для пересування по натяжній гірлянді; ПС – пристрій стяжний; ПНК – поліпропіленовий нескінченний канат; ПН – капроновий нескінченний канат.

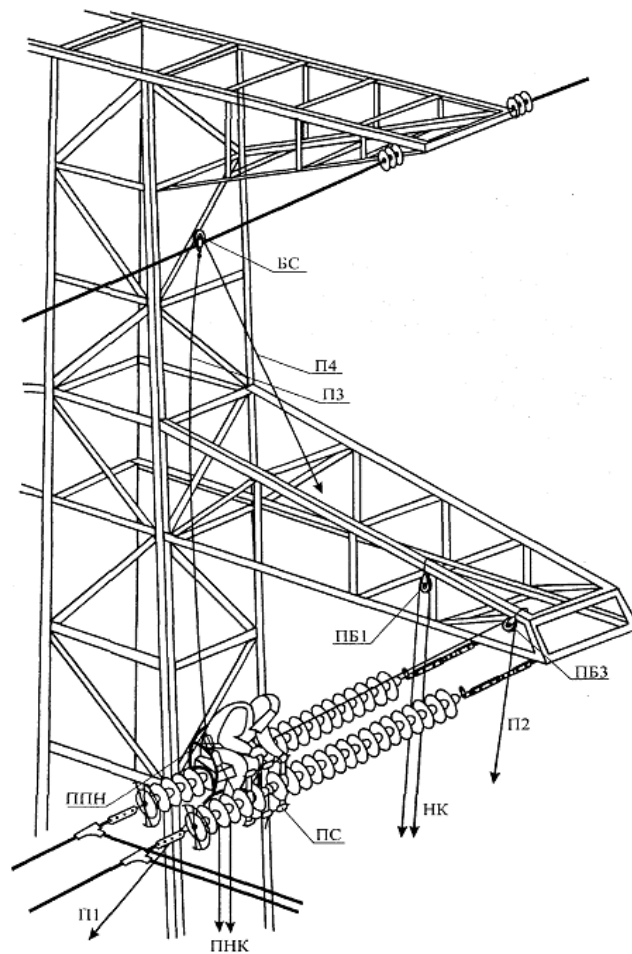


Рис. 4.10. Схема доставляння електромонтера в спеціальному сидінні, яке встановлюють над ізолювальною підвіскою

Електромонтер розміщується вище ізолювальної підвіски, завдяки чому не виникає шунтування повітряного проміжку між тілом людини та шлейфом.

Цей спосіб дає змогу виконувати роботи ПРН на анкерних опорах з траверсами, а також на порталах ПЛ 330 кВ і вище.

Схему доставляння електромонтера в монтерське сидіння, підвішене до спеціального полозу, наведено на **рис. 4.11**, на якому позначено: ПНГ – пристрій для пересування; МС – монтерське сидіння; ВНІ – пристрій для заміни ізоляторів; П1, П2 – канати поліпропіленові; БП2 – блок підвісний; ПНК – поліпропіленовий нескінченний канат; ТрМ – трап для монтажу; НК – нескінченний канат.

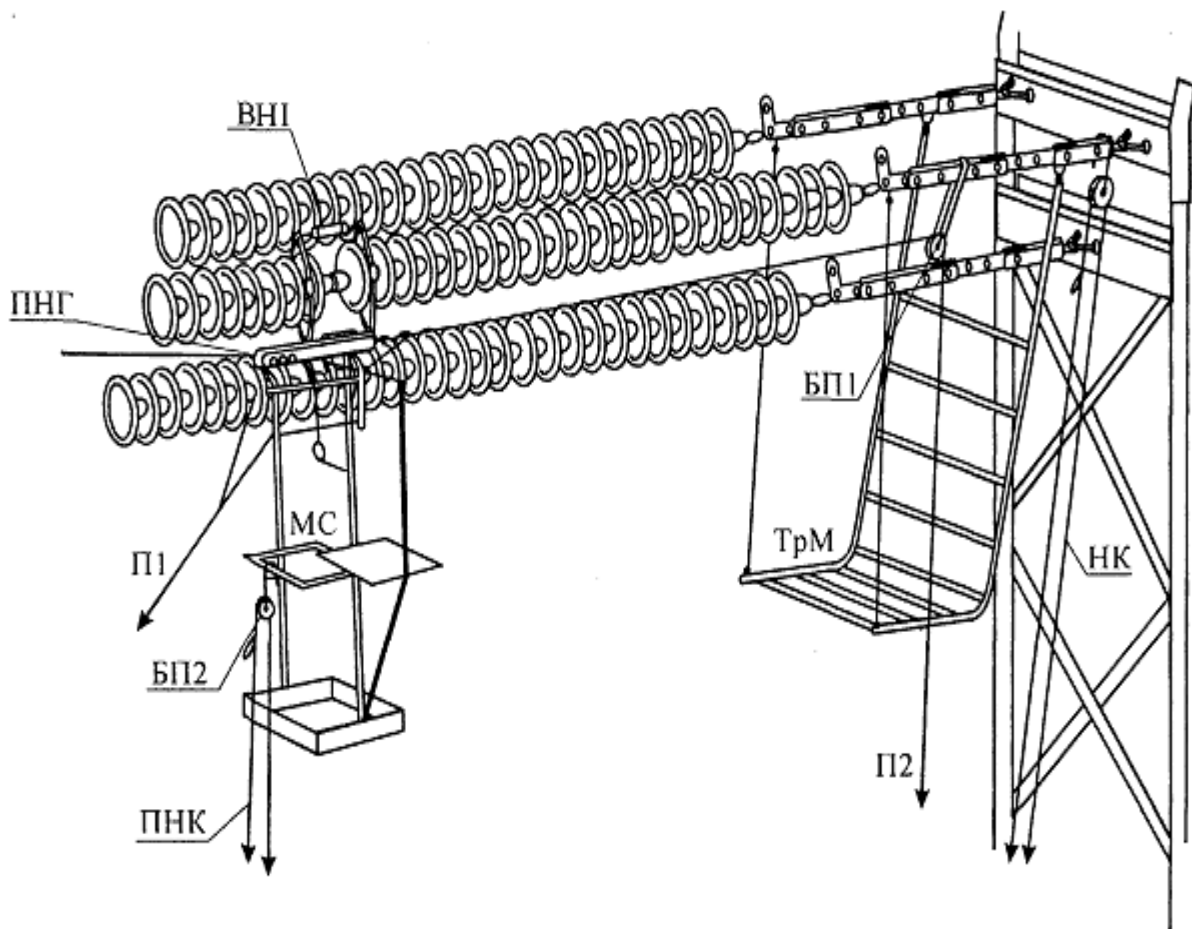


Рис. 4.11. Схема доставляння електромонтера в монтерське сидіння, підвішене до спеціального полозу

Цей спосіб застосовують під час виконання робіт ПРН на натяжних гірляндах ізоляторів ПЛ 500 – 750 кВ.

Монтерське сидіння підвішують до полозу, який переміщується по тарілках скляних ізоляторів одного з ланцюгів ізолювальної підвіски.

4.3. Розміщення електромонтерів перед початком та в процесі виконання робіт

Схему розміщення електромонтерів перед початком роботи на ПЛ наведено на **рис. 4.12**. Зважаючи на персональну відповідальність кожного з працюючих методом ПРН, тут і далі позначено керівника робіт літерою Р; електромонтерів, які працюють на верхніх частинах опори або порталу – літерами В1, В2, ..., В_п, де 1, 2 ... п – порядковий номер верхівкового електромонтера; електромонтерів, що працюють у нижчій частині опори та на землі – позначено літерами Н1, Н2, ..., Н_п (низові електромонтери).

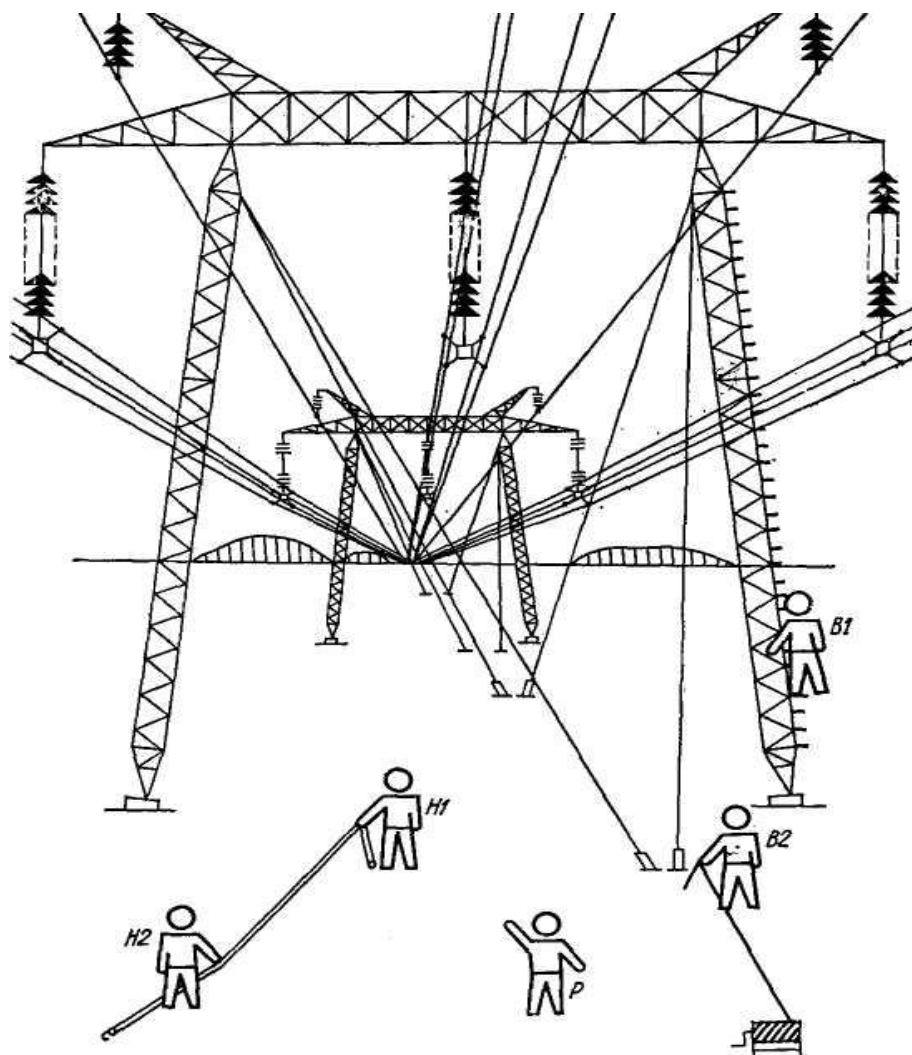


Рис. 4.12. Схема розміщення електромонтерів перед початком роботи на ПЛ

Електромонтер В1 надіває екранувальний костюм, перевіряє заготовлені інструменти в екранованій сумці і підготовляє страхувальний канат. За командою керівника робіт Р В1 піднімається з екранованою сумкою з інструментами та страхувальним канатом по степ-болтах стояка опори. Під час підйому він водночас оглядає кріплення степ-болтів. Керівник Р наглядає за підйомом електромонтера В1. У цей час електромонтер В2 готує допоміжний канат, а електромонтери Н1 і Н2 – нескінченний канат і спеціальний трап.

Електромонтер В1 виходить на траверсу і закріплюється до кутника траверси страхувальним ременем монтерського пояса. Лише після цього починає підніматися на опору електромонтер В2 з допоміжним канатом.

Нижчий кінець цього каната електромонтери Н1 і Н2 тримають у руках, запобігаючи розгойдуванню канату, і потроху відпускають його. Весь цей час електромонтер В1 і керівник Р наглядають за діями електромонтерів В2, Н1 і Н2. Коли електромонтер В2 виходить на траверсу, він закріплюється страхувальним канатом монтерського пояса за кутник траверси.

Встановлення страхувального канату для переміщення вздовж траверси показано на **рис. 4.13**.

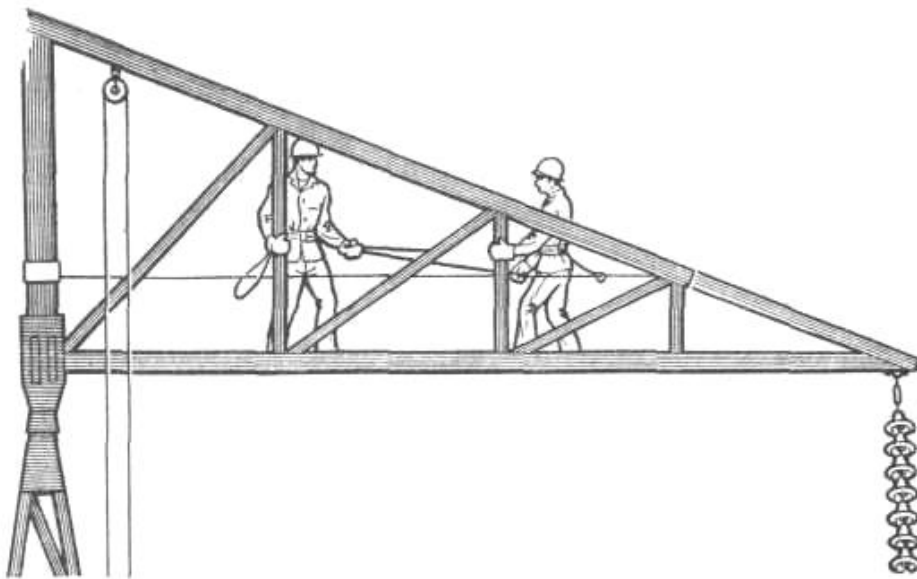


Рис. 4.13. Встановлення страхувального канату для переміщення вздовж траверси

Електромонтер Н1 кріпить нескінченний канат до допоміжного. Після виконання зазначених робіт починається підйом нескінченного каната за допомогою допоміжного канату. При цьому електромонтери В1 і В2 піднімають нескінченний канат (рис. 4.14), вибираючи допоміжний, а електромонтери Н1 і Н2, притримуючи спочатку допоміжний, а потім і прикріплений до нього нескінченний канат, потроху відпускають його.

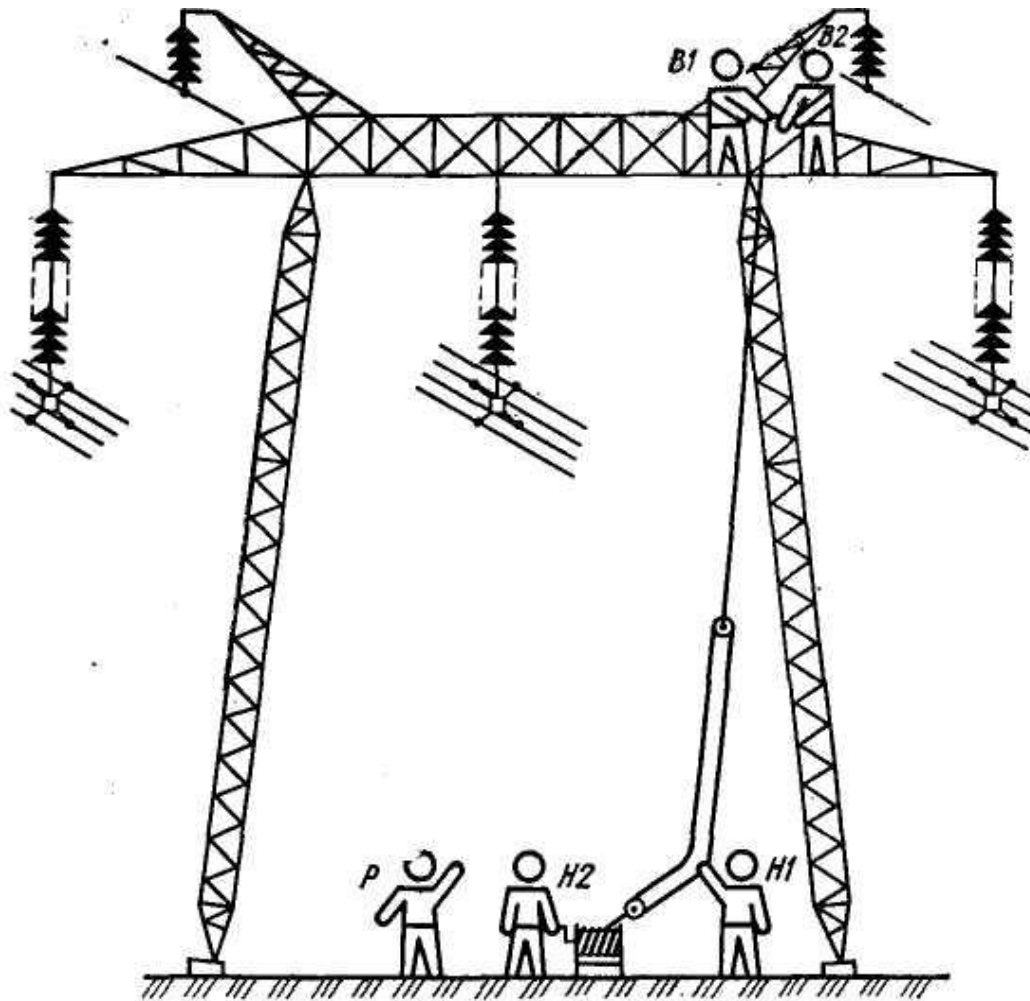


Рис. 4.14. Підйом нескінченного каната за допомогою допоміжного канату (1 етап)

Під час підйому канатів особливу увагу слід звертати на те, щоб вони не наближалися до фазних проводів. Підйом виконують безпосередньо біля стояка опори. Коли верхній кінець нескінченного каната досягне траверси, електромонтери В1 і В2 закріплюють його за верхній кутник траверси.

Потім електромонтер Н1 натягає нескінченний канат уздовж лінії паралельно проводам, а електромонтер Н2 забиває штир з монтажним роликом нижчого кінця нескінченного каната в землю (**рис. 4.15**). Керівник Р постійно наглядає за діями членів бригади і водночас дає вказівку електромонтерам В1 і В2 натягнути на траверсі страхувальний канат. Канат потрібно натягнути між діафрагмою траверси і першою від гірлянди розпіркою. Електромонтери В1 і В2 закріплюються карабінами за страхувальний канат. Таке закріплення забезпечує безпечне переміщення верхівкових електромонтерів В1 та В2 уздовж траверси.

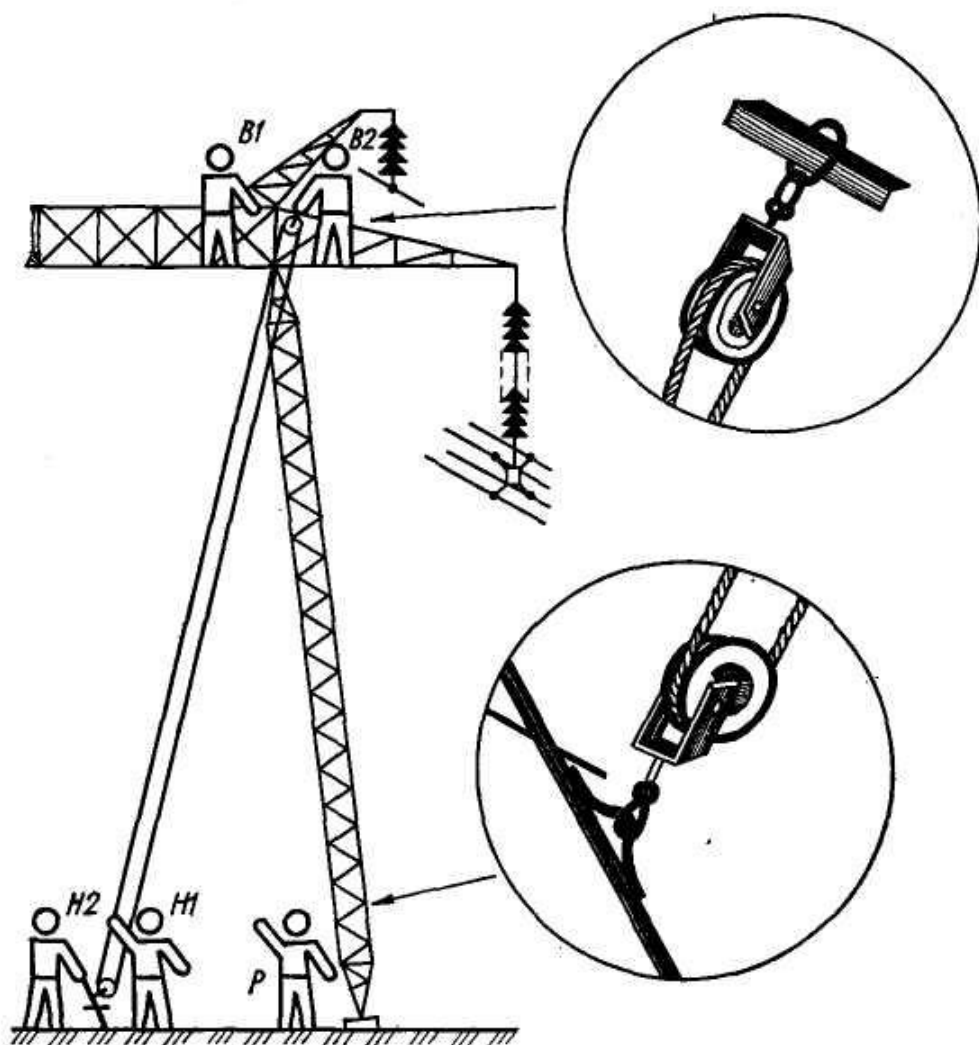


Рис. 4.15. Підйом нескінченного каната за допомогою допоміжного канату (2 етап)

Відтепер низові електромонтери Н1 і Н2 мають змогу піднімати на траверсу необхідні предмети самостійно (без допомоги верхівкових електромонтерів). Тому в цей час вони (Н1 і Н2) кріплять заземлення і спеціальний трап до нескінченного канату та здійснюють їх підйом на траверсу (рис. 4.16).

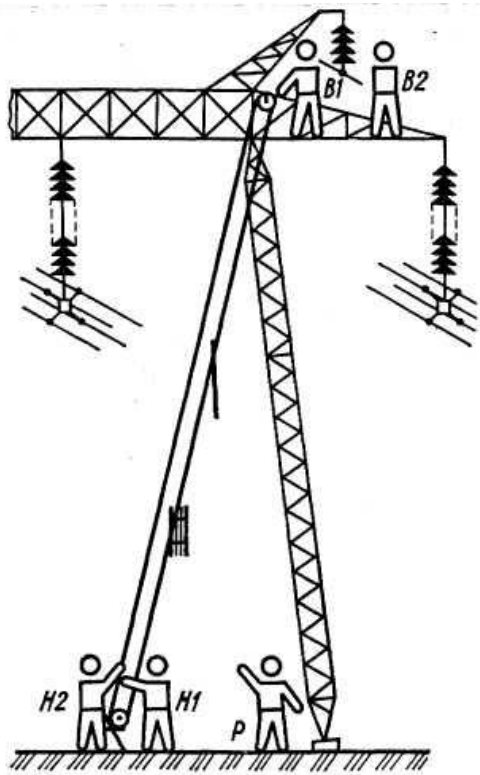


Рис. 4.16. Підйом нескінченного каната за допомогою допоміжного канату (3 етап)

Електромонтери В1 і В2 приймають заземлення і трап, розташовують їх на траверсі та ретельно закріплюють (для унеможливлення їх падіння з опори).

За командою керівника Р електромонтери В1 і В2 приступають до подальшої дії – установлення заземлення. Ця операція виконується таким чином. Електромонтер В1 бере заземлення та переміщується з ним до кінця траверси. Електромонтер В2 зі штангою заземлення переміщується слідом позаду, здійснюючи нагляд. По досягненні потрібного місця на траверсі електромонтер В1 передає штангу заземлення електромонтеру В2, а сам приєднує струбцину заземлювального проводу до траверси.

Потім В1 бере штангу (в межах до обмежувального кільця) і накладає заземлення на шапку ізолятора, вище якого планується робота (**рис. 4.17**).

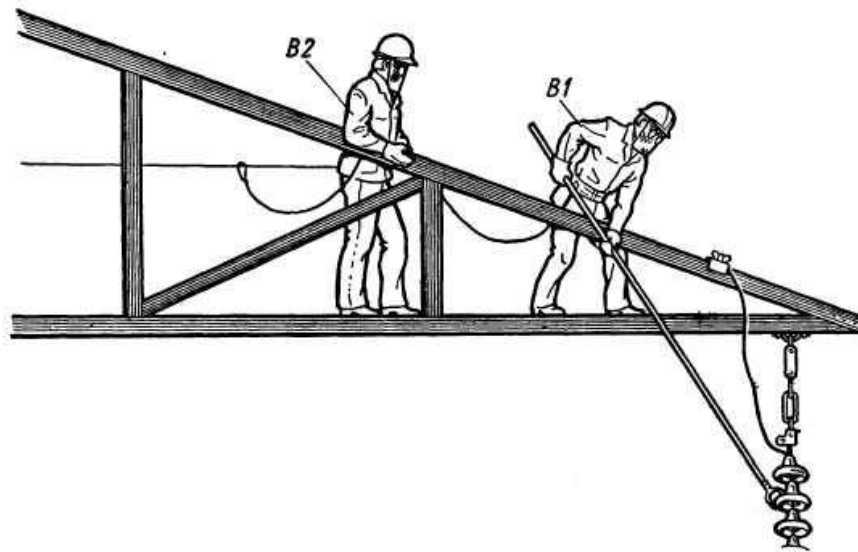


Рис. 4.17. Встановлення заземлення

Слід зазначити, що шунтування заземленням допускається лише певної обмеженої частини гірлянди. Розрахункова сумарна кількість зашунтованих і дефектних ізоляторів у робочій частині гірлянди має не перевищувати допустиму кількість дефектних під час ПРН.

Якщо на ПЛ використовуються багатоланцюгові гірлянди, то встановлення заземлень на кожній гірлянді виконується по черзі і при тому на той самий за рахунком ізолятор. Для однотипності встановлено правило, за яким підрахунок ізоляторів завжди береться за відліком від траверси. Після установки і закріплення заземлень їх штанги кріплять до металоконструкцій траверс так, щоб вони не заважали виконанню робіт.

Наступним етапом є встановлення трапа (**рис. 4.18**). Закінчивши установлення заземлень, електромонтери В1 і В2 переміщуються по траверсі до стояка і переносять до місця робіт спеціальний трап. Трап після транспортування, разом з підйомом, знаходиться в складеному стані. Тому його потрібно підготувати до роботи, що виконують верхівкові електромонтери на траверсі.

Для підготовки трапа його поворотну штангу ставлять перпендикулярно площі трапа.

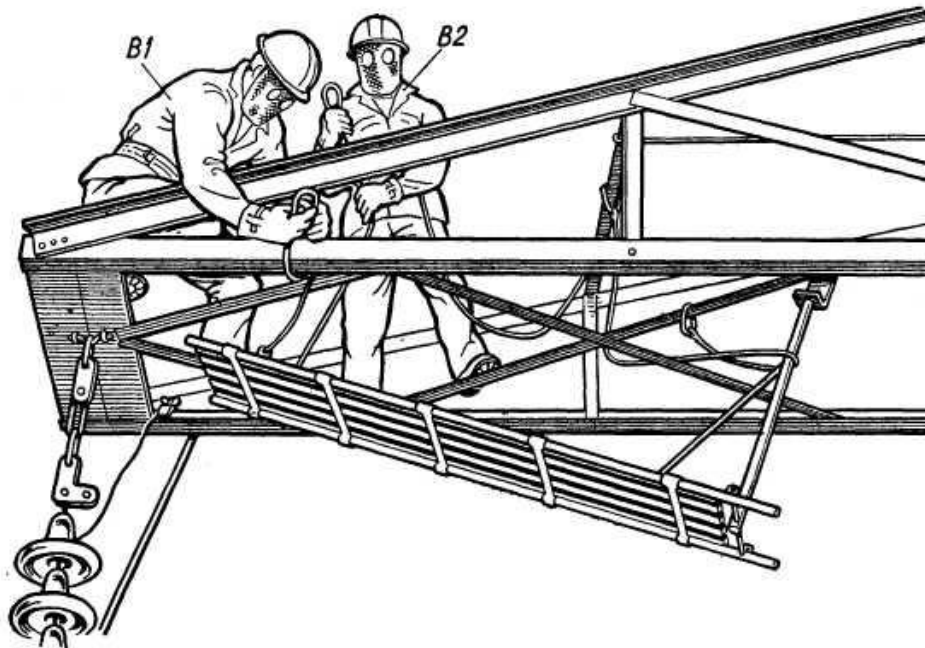


Рис. 4.18. Встановлення трапа

Електромонтер В2 установлює голівку штанги трапа на розкіс траверси, закріплює страхувальний канат трапа за першу верхню розпірку траверси, а страхувальний тросик поворотної голівки штанги – за нижній розкіс. Увесь цей час електромонтер В1 тримає другий кінець трапа в руках. Електромонтер В2, закріпивши страхувальним канатом і тросом свій кінець трапа, наближається до електромонтера В1, бере в руки фал трапа й утримує їм трап, а електромонтер В1 кріпить другий фал трапа до несучого кутника траверси. Потім електромонтер В2 опускає трап так, щоб він набув горизонтального розташування, і закріплює за кутник другий фал трапа. Електромонтер В2 переходить по траверсі до другого кінця трапа і затискає гвинт голівки поворотної штанги трапа, створюючи жорсткість закріплення трапа. Електромонтер В1 перевіряє надійність закріплення трапа і доповідає про це керівнику робіт. До одержання команди від керівника робіт вихід на трап заборонено.

Спочатку готуються всі інструменти і матеріали, необхідні для виконання робіт ПРН. Нескінченим канатом електромонтери Н1 і Н2 передають, а електромонтер В2 приймає стяжні пристрої для заміни ізоляторів чи арматури, захисний короб для установки над гірляндою (у разі необхідності виконання над нею чи поблизу на траверсі фарбувальних чи зварювальних робіт), пристосування для зварювання, необхідні кутники і т. ін. При цьому керівник Р, що знаходиться внизу, і електромонтер В1, що знаходиться на траверсі, ведуть постійний нагляд за діями електромонтерів Н1, Н2 і В2. При цьому особливу увагу звертають на закріплення до каната деталей, що підлягають підйому, на рух нескінченного каната, складування і закріплення на траверсі подаваних на опору предметів. Не допускається подача нагору нічого зайвого. Підйому підлягають тільки ті предмети, які необхідні для даного виду роботи за прийнятої технології її виробництва. Кожен предмет має бути надійно закріпленим на траверсі. За необхідності електромонтер В1 здійснює допомогу щодо прийому і закріплення деталей та інструментів, які піднімаються на траверсу.

4.4. Виконання найпоширеніших видів робіт ПРН в електричних мережах 110 – 150 кВ

Як приклад, розглянемо один з найпоширеніших видів робіт ПРН на ПЛ 110 – 150 кВ, а саме – ремонт та обслуговування натяжних гірлянд ізоляторів.

Найпоширеніші ще з часів колишнього СРСР опори ПЛ напругою 110 – 150 кВ мають конструкцію з вертикальним розташуванням проводів (одноланцюгові та багатоланцюгові ПЛ). При цьому роботи на нижній і середній траверсах ускладнено через недостатню відстань від проводу, що знаходиться під напругою, до працюючого, який розташовується на кінці траверси.

Саме тому технологією безпечного виконання робіт ПРН передбачено заходи щодо попереднього віддалення проводу верхньої (середньої) фази на необхідну відстань.

При виконанні робіт при тимчасовому збільшенні відстані між проводом та опорою ПЛ створюється безпечна робоча зона, де електромонтер може вільно виконувати операції безпосередньо руками із застосуванням звичайного інструменту. Для відведення проводів від опори використовуються штанги та відтяжки, а також спеціальні розпірні тяги.

Операції по від'єднанню і приєднанню гірлянд ізоляторів до підтримувального затиску проводу виконуються за допомогою ізолювальних штанг, на кінці яких кріпляться спеціальні пристосування для виїмки або виштовхування пружинного замку, установки гасителів вібрації і тому подібне. Ці роботи електромонтер робить із трапу, змонтованого на стойці опори під траверсою, як показано на **рис. 4.19**, на якому позначено: 1 – трап; 2 – ізолювальна штанга; 3 – допоміжний ізолювальний канат; 4 – лебідка; 5 – канат; 6 – блок монтажний; 7 – полімерний ізолятор; 8 – пристрій для виїмки пружинного замка.

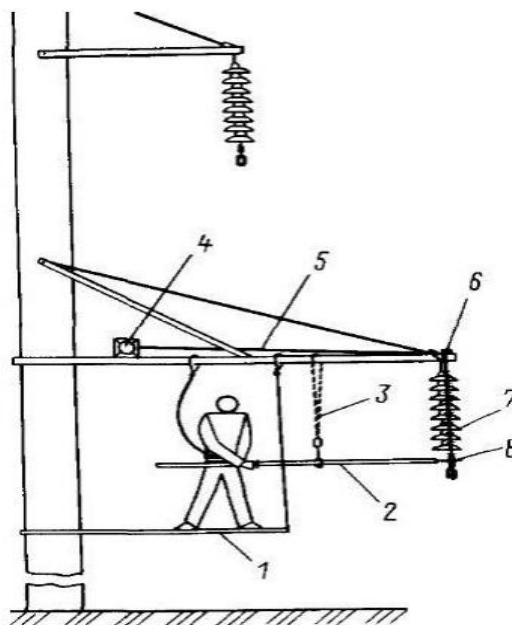


Рис. 4.19. Від'єднання гірлянди ізолятора 110 кВ від підтримувального затиску

Приклад роботи під напругою із обслуговування гірлянд ізоляторів на проміжних опорах ПЛ 110 кВ наведено на **рис. 4.20**.

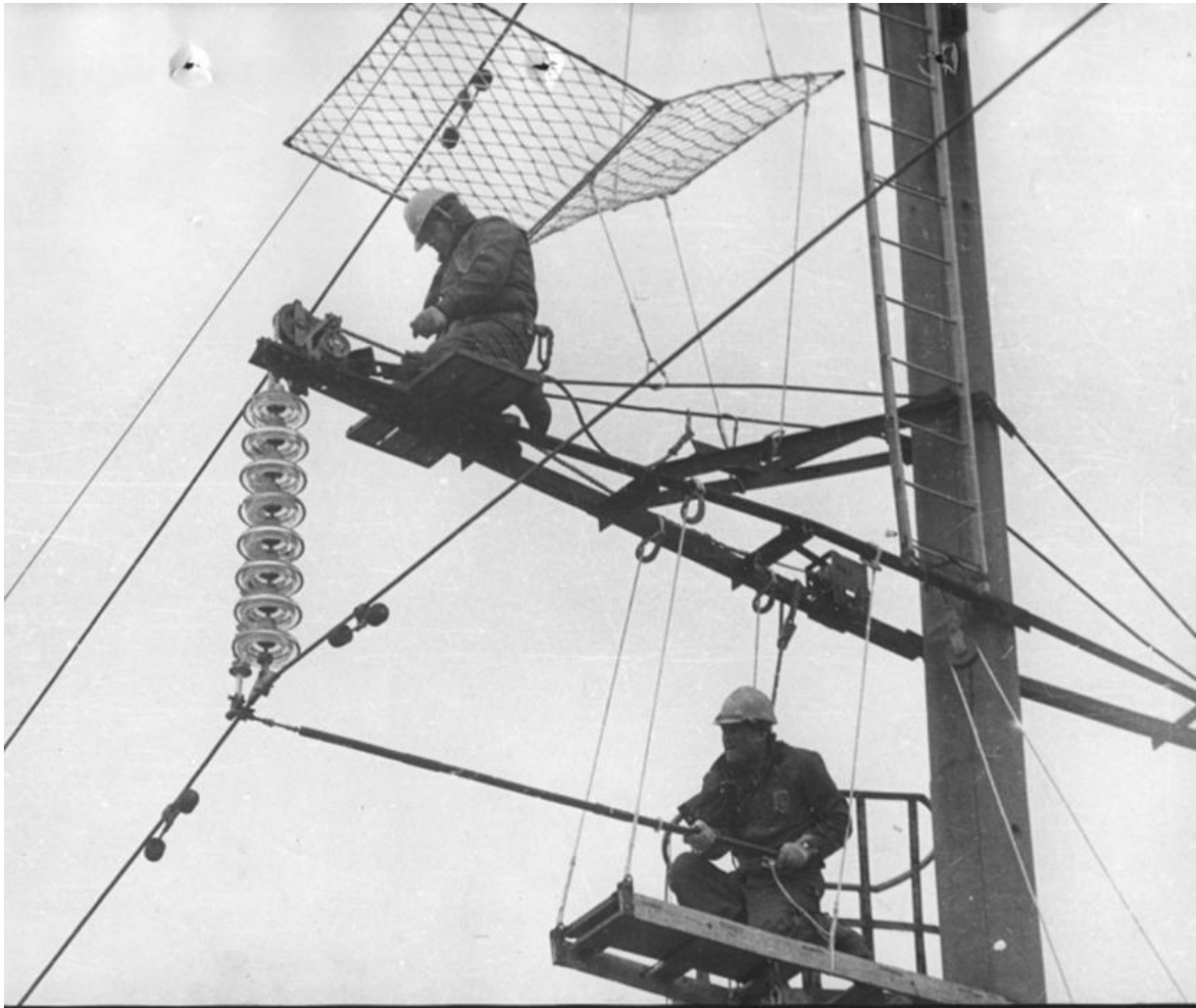


Рис. 4.20. Робота під напругою на проміжних опорах ПЛ 110 кВ

Для від'єднання гірлянди на кінці верхньої (середньої) траверси електромонтер установлює спеціальну поворотну штангу. Через блок штанги і блок, прикріплений до стояка опори, пропускається ізолювальний поліпропіленовий канат із захоплювачем на кінці, яким чіпляється за провід. За допомогою лебідки, установленної на траверсі, провід верхньої фази піднімається догори. Унаслідок цього відстань від середньої траверси до верхнього проводу збільшується і дорівнює відстані між траверсами.

На ПЛ напругою 110 кВ ця відстань дорівнює 3,5 м, а на ПЛ напругою 150 кВ – 4 м. Це цілком забезпечує безпеку виконання робіт.

Під час робіт ПРН з демонтажу гірлянди ізоляторів на ПЛ 110 кВ використовується навісний трап, як показано на **рис. 4.21**.



Рис. 4.21. Використання навісного трапу під час ремонту гірлянди ізоляторів на ПЛ 110 кВ

Підйом електромонтера на потрібну траверсу виконується за допомогою монтажної драбини або телескопічної вишки, яка встановлюється поряд зі стійкою опори по поздовжній осі ПЛ.

За допомогою телескопічної вишки, крім ремонту підтримуючих підвісок, під напругою виконують установку та заміну віброгасників, ремонт проводу з установкою бандажа, а також ревізію та посилення болтових з'єднань в шлейфах анкерно-кутових опор.

Зокрема, ремонт шлейфів на ПЛ 110 кВ виконують за допомогою розкочувальних роликів і спеціального барабану, на який намотують провід шлейфу. Схему організації робіт ПРН із ремонту шлейфу на анкерній опорі ПЛ 110 кВ наведено на **рис. 4.22**, на якому позначено: ПЗ – затискач; ЗР – закачувальні ролики; ПП2 – ізолятор полімерний; МС – монтерське сидіння; Б – барабан; БМ – блок монтажний; П7, П9 – канати поліпропіленові.

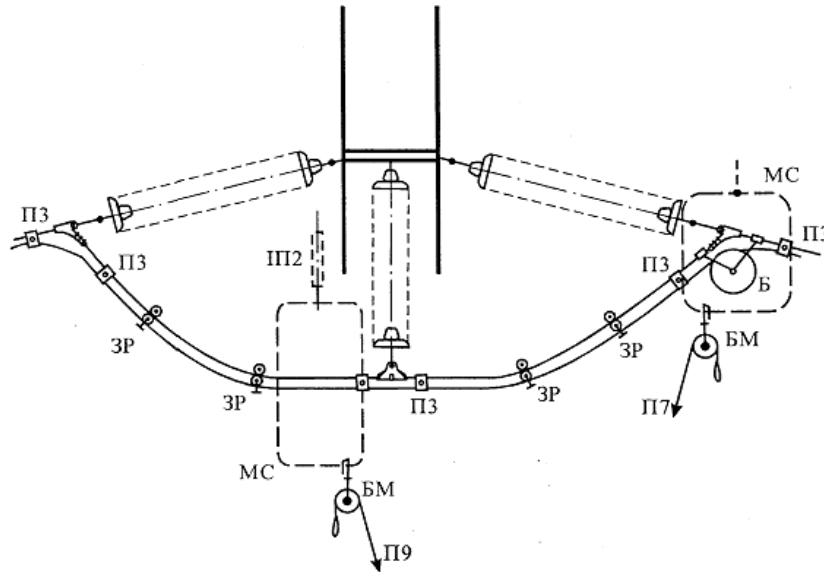


Рис. 4.22. Схема організації робіт ПРН із ремонту шлейфу на анкерній опорі ПЛ 110 кВ

4.5. Виконання найпоширеніших видів робіт ПРН в електричних мережах 220 – 750 кВ

Роботи під напругою на лініях електропередачі високої та надвисокої напруги в колишньому Радянському Союзі було вперше широко впроваджено в енергооб'єднаннях Міненерго України. При цьому перевагу було надано роботі за методом «голих рук», оскільки цей метод порівняно зі штанговим методом, який широко застосовувався за кордоном, дав змогу неабияк спростити конструкцію допоміжних пристроїв, підвищити продуктивність та безпеку робіт.

Під час освоєння технологій ПРН створено оригінальні технологічні схеми виконання робіт на підтримувальних ізолювальних підвісках, натяжних гірляндах ізоляторів, на проводах та арматурі ПЛ, на блискавкозахисних тросах. Освоєно роботи на обладнанні відкритих розподільних пристроїв підстанцій.

Як зазначалося вище, для кожного конкретного виду ПРН складено технологічні карти, за якими, згідно з чинними нормативами мають виконуватися всі роботи методом ПРН. Ці карти складено з урахуванням конструктивних особливостей відповідних ПЛ (або розподільної установки), особливостей траси ПЛ, наявності перетинань з іншими спорудами та лініями електропередачі тощо.

Ремонт натяжних гірлянд

Однією з найскладніших технологічних операцій під час проведення робіт ПРН є ремонт і заміна натяжних гірлянд. У перші роки застосовувалась технологія виконання цих робіт, за якою передбачалось звільнення механічного навантаження гірлянди, що ремонтується, монтаж поворотної піднімальної консолі, встановлення твердої коритоподібної підтримувальної конструкції під гірлянду ізоляторів, підйом гірлянди за допомогою консолі та підтримувальної конструкції для звільнення тягіння в гірлянді від ваги ізоляторів, розчіплювання гірлянди за допомогою поворотної консолі. Найбільш трудомісткою операцією є монтаж поворотної консолі та підтримувальної конструкції. Виконання таких операцій на ПЛ напругою 330 кВ і вище вимагало влаштування настільки складних конструкцій, що змонтувати їх на існуючих опорах ПЛ виявилось практично неможливим.

Тому згодом було розроблено іншу оригінальну технологію заміни натяжних гірлянд ізоляторів на ПЛ, що знаходяться під напругою. Приклад виконання робіт ПРН на натяжній гірлянді ПЛ 750 кВ за цією технологією наведено на **рис. 4.23**.



Рис. 4.23. Виконання робіт під напругою на натяжній гірлянді ПЛ 750 кВ

Загальну схему розташування робітників під час проведення робіт з ремонту натяжних гірлянд на ПЛ наведено на **рис. 4.24**. Технологія передбачає чіткий розподіл функцій між виконавцями.

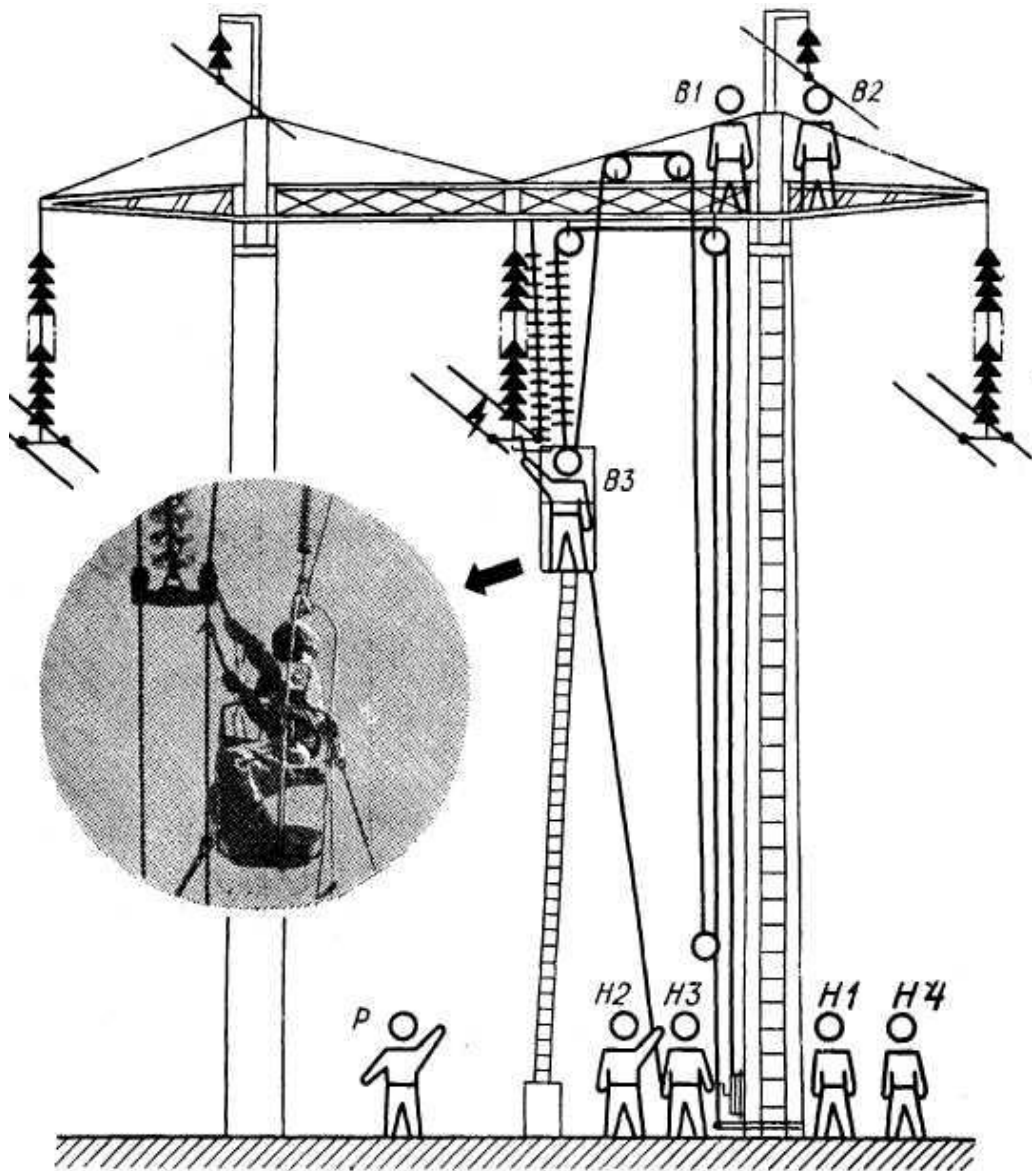


Рис. 4.24 Розміщення виконавців під час проведення робіт ПРН

До струмопровідних частин, що знаходяться під напругою, електромонтер доставляється в монтерському стільці (чи стільці-візку) за допомогою ручної лебідки, поліпропіленового канату і склопластикового ізолятора. Керування стільцем здійснюється за допомогою ізолювальних канатів та сходів. Для звільнення від механічного навантаження гірлянди ізоляторів, що ремонтуються, застосовуються додатковий ізолятор і гвинтовий домкрат.

Один електромонтер (позначений як В3) виконує роботу на потенціалі з безпосереднім торканням струмопровідних частин (**рис. 4.25**). Він обов'язково проводить роботи у захисному костюмі, а інші члени бригади (позначені літерою Н з відповідним порядковим номером) працюють на відстані, керуючи ізолювальними канатами.



Рис. 4.25. Робота на потенціалі у монтерському стільці

За необхідності виконання робіт у прогоні ПЛ у верхній частині монтерського стільця додатково монтують візок, за допомогою якого пересуваються проводами. Конструкція візка дозволяє долати перешкоди у вигляді розпірок, сполучних муфт і навіть підтримувальних затискачів ізолювальних підвісок. Схему організації ремонту натяжних гірлянд ПЛ 750 кВ наведено на рис. 4.11.

Одного з електромонтерів доставляють на траверсу опори, іншого – на провід до потенційного кінця гірлянди (про способи доставляння йшлося вище). Потім на провід поблизу натяжного затискача навішують сходи, на які переходить електромонтер із проводу. За провід і траверсу кріплять домкрат та ізолювальну тягу (полімерний ізолятор), за допомогою яких знімається навантаження гірлянди ізоляторів від тяжіння в проводі. Далі ізоляційним канатом підтягують до траверси заземлену частину підвіски, відчіплюють від траверси й опускають до вертикального зависання на проводі. Ремонт або демонтаж гірлянди здійснює електромонтер зі сходів.

Практика виконання робіт ПРН на ПЛ високої і надвисокої напруги показала, що найчастіше немає необхідності під час ремонту демонтувати всю гірлянду ізоляторів, – достатньо демонтувати тільки дефектний ізолятор. Найважливішим питанням є забезпечення доставляння електромонтера до місця виконання робіт на ПЛ, яка перебуває під робочою напругою.

Іншим прикладом виконання зазначених робіт є технологія, застосовувана в Угорщині. Для заміни ізоляторів натяжних гірлянд використовують монтажну колиску, що пересувається сусіднім ланцюгом багатоланцюгової натяжної гірлянди на санчатах, виготовлених з ізолювального склоепоксидного матеріалу.

Монтер у колисці пересувається до зони робіт за допомогою двох ізолювальних канатів. Навантаження з ушкодженої гірлянди знімаються з використанням гідравлічного домкрата, після чого за допомогою стяжного пристрою звільняється і замінюється дефектний ізолятор.

Ремонт і заміна деталей верхньої частини підвіски підтримувальної гірлянди на ПЛ 220 – 750 кВ

У разі проведення ремонтних робіт на ПЛ під напругою, пов'язаних із заміною дефектних серег, необхідно виконати шунтування серег на проміжних опорах. Електромонтер В1 (рис. 4.24) бере у сумку з інструментами і три шунтувальних пристрої. Переконавшись після установки трапа в тому, що заземлення і трап установлені правильно, керівник Р відразу дає дозвіл електромонтеру В1 спуститися на трап і установити шунтувальний пристрій на дефектну сергу. Загальний вигляд процесу накладання шунтувального пристрою на арматуру з дефектною сергою наведено на **рис. 4.26**, а заміну серги в підтримувальній гірлянді – на **рис. 4.27**.

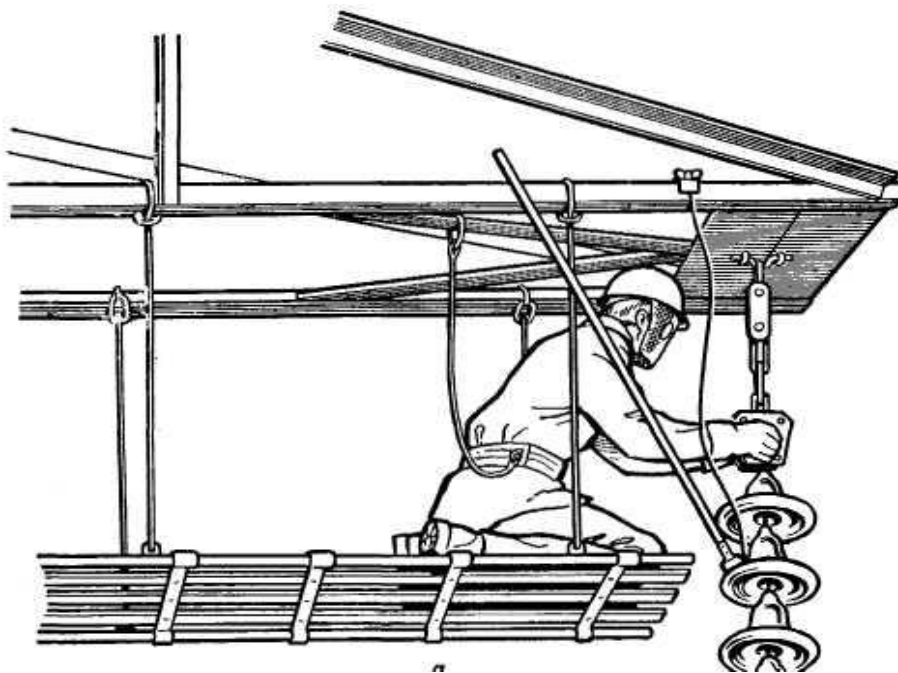


Рис. 4.26. Накладання шунтувального пристрою на арматуру з дефектною сергою

Перш ніж приступити до виконання безпосередньої роботи, електромонтер В1 дістає із сумки гайковий ключ і надягає на праву руку лямку петлі (це запобігає падінню ключа в разі випадкового випускання його з руки). Потім В1 накладає шунтувальний пристрій на арматуру з дефектною сергою.

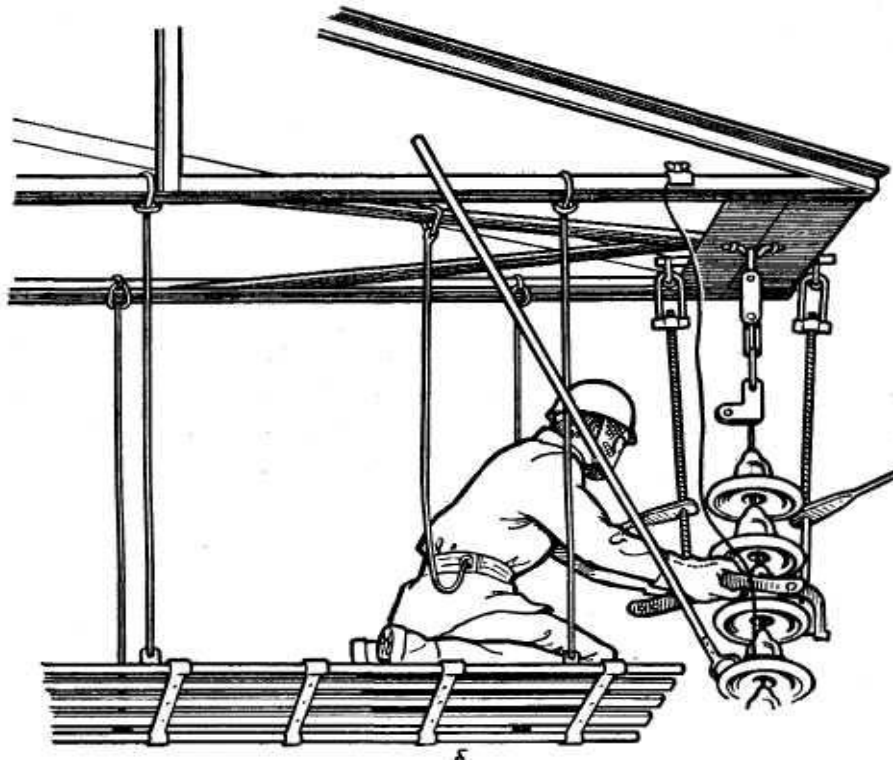


Рис. 4.27. Заміна серги в підтримуючій гірлянді

Після завершення встановлення шунтувального пристрою електромонтер В1 піднімається на траверсу і доповідає керівнику робіт про виконання роботи на цій фазі лінії. Керівник робіт дає розпорядження підняти на траверсу трап. Електромонтер В2 послабляє болт поворотної голівки штанги трапа, електромонтер В1 піднімає кінець трапа за фали, а електромонтер В2 – за штангу, знявши її з кутника розкошу траверси. Трап піднімають і укладають на траверсі. Після цього електромонтер В1 звільняє фали трапа, а електромонтер В2 знімає з траверси страхувальні канати і тросик голівки трапа. Електромонтери складають трап у транспортне положення і переносять до стояка опори, де викладають на нижніх кутниках траверси і закріплюють. Керівник робіт дає дозвіл зняти заземлення. Електромонтер В1 звільняє кріплення штанги заземлення з кутника траверси, знімає заземлення із шапки ізолятора, кладе його на траверсу, а потім звільняє кріплення струбцини заземлюючого провідника з кутника траверси.

Таким самим чином електромонтери В1 і В2 знімають по черзі всі заземлення, установлені на цій ізоляційній підвісці. Заземлення складають і переносять до стояка опори, потім кладуть на траверсу і закріплюють.

Для продовження робіт на інших фазах керівник робіт дає завдання натягнути другий страхувальний канат уздовж траверси убік інших фаз. Роботи на інших фазах виконуються в тій самій послідовності, що і для першої фази.

Після закінчення робіт на всіх фазах електромонтери В1 і В2 підносять до стояка заземлення і трап і знімають обидва страхувальні канати. За допомогою нескінченного каната спускають з траверси на землю заземлення, трап і страхувальні канати. Електромонтери Н1 і Н2 приймають пристосування й укладають на брезентовий полог. Електромонтер В2 кріпить кінець нескінченного каната до допоміжного і з його допомогою опускає нескінченний канат на землю. Електромонтери Н1 і Н2 приймають і змотують нескінченний канат, стежачи за тим, щоб допоміжний канат не відхилявся і не наближався до проводу. Електромонтер В2 спускається по степ-болтах з опори з допоміжним канатом, який підбирає і змотує електромонтер Н2. Після цього спускається з опори електромонтер В1. Складають інструменти. Керівник робіт закриває наряд і доповідає диспетчеру про закінчення робіт.

За аналогічною технологією виконують роботи із заміни або ревізії арматури підтримувальної гірлянди на ПЛ 220 – 750 кВ. Кількість ізоляторів, яку можна замінити безпосередньо з траверси, визначають залежно від номінальної напруги лінії і типу ізоляторів (табл. 2.6).

Відмінність полягає в тому, що для проведення робіт на опорі за допомогою нескінченного каната подають ізолятор і стяжні пристрої. Електромонтер В2 подає їх по черзі електромонтеру В1, що перебуває на трапі. Електромонтер установлює стяжні пристрої, стягує гірлянду, звільняє і виймає дефектну сергу чи ізолятор і подає їх електромонтеру В2, потім бере від нього нову сергу чи цілий ізолятор і ставить у гірлянду. Після заміни дефектної арматури чи ізоляторів звільняється і знімається стяжний пристрій.

Ремонт підвіски блискавкозахисного троса ПЛ 220 – 750 кВ

Блискавкозахисні троси на ПЛ напругою 220 – 750 кВ, як правило, монтують по два на кожній лінії для забезпечення відповідного кута захисту. Зважаючи на те, що троси використовують ще і як канали диспетчерського і технологічного зв'язку, заземлення троса виконують тільки на кінцевих опорах.

Заземлення тросів з обох кінців створює контури «трос – земля» і «трос – трос». Троси мають добру провідність, тому в утворених контурах, навіть у нормальному режимі роботи, виникають значні струми. Це призводить до додаткових втрат енергії, і для їх зменшення троси схрещують. Такий захід дозволяє істотно зменшити напругу, що наводиться в тросах і, відповідно, струм, що істотно зменшує втрати електричної енергії.

Таким чином, за нормального режиму роботи ПЛ напруга, що наводиться на тросі, відносно незначна і для існуючих ПЛ 750 кВ не перевищує 10 кВ. Проте у разі замикань лінії на «землю» напруга, що наводиться на тросах у перехідному режимі, набагато зростає і може досягати 100 кВ. Цей рівень напруги прийнято за основу під час вибору ізоляції блискавкозахисних тросів. Якщо на тросі передбачено плавлення ожеледі, то рівень його ізоляції визначається напругою, яка подається на трос для плавлення. Наприклад, для ПЛ 750 кВ напруга плавлення становить 110 кВ.

Як показує досвід експлуатації, з найпоширеніших робіт на тросах, які проводяться під напругою, слід зазначити такі: заміна дефектних ізоляторів, заміна окремих дефектних вузлів чи деталей арматури гірлянд, відновлення кріплення троса, ремонт троса в затискачах та поряд з ними (практично в межах до 2 м від затискача). Для виконання цих робіт потрібні, крім стандартного комплексу монтерських інструментів, ще і спеціальні пристосування: стяжний пристрій для заміни ізоляторів на ПЛ напругою 110 кВ та спеціальні заземлення з індукційною котушкою (наприклад, типу ПЗ-10 або ПЗ-20). Роботу виконують за нарядом згідно із затвердженою технологічною картою.

Після виконання підготовчих робіт першим (щодо безпеки) етапом роботи на тросах під напругою на ПЛ є вимір опору заземлення опори, який не має перевищувати 30 Ом. Такий захід зумовлений необхідністю забезпечення захисту від впливу крокової напруги і напруги дотику, тому що після заземлення троса на опорі вони можуть досягати значних величин.

Підйом на опору членів бригади і пристосувань здійснюється одним із зазначених вище способів. Установлення заземлень здійснюють електромонтери В1 і В2. Під час установлення заземлення на трос при виборі місця встановлення слід дотримуватися відстані 1 – 1,5 м від підтримувального затискача, щоб деталі заземлення не заважали виконанню робіт на ізоляційній підвісці троса. Особливістю є те, що на кожній опорі на трос, де будуть вестися роботи, установлюють два заземлення в різні сторони від місця робіт. Така особливість (установлення двох заземлень) зумовлена необхідністю забезпечення надійності заземлення троса на опорі, тому що необхідно забезпечити безпеку робіт навіть у разі випадкового обриву одного із заземлень. З міркувань безпеки встановлено, що ці заземлення є обмеженням зони, у якій електромонтер має право доторкатися до проводу в рукавичках екранувального костюма.

Крім того, необхідно обов'язково заземлювати трос на кожному робочому місці, тому що наведена напруга на тросі пропорційна довжині троса від місця установки заземлення. Після установки заземлень електромонтер В2 передає електромонтеру В1 необхідні пристосування і матеріали для виконання робіт. Залежно від виду виконуваних робіт можуть бути застосовані відповідні пристосування. Так, у разі заміни ізоляторів або арматури гірлянди, зняття тяжіння троса з гірлянди виконується за допомогою стяжного пристрою. Для зручності виконання робіт можливо застосовувати спеціальну площадку, яку кріплять до тросостояка. За допомогою такої площадки можливе виконання не тільки вищезазначених робіт, а також інших робіт з ремонту троса на відстані 1,5 – 2 м від підтримувального затискача.

Після закінчення робіт забирають інструменти і пристосування, а потім по черзі знімають з троса заземлення. Знімання заземлень виконує електромонтер В1 за допомогою штанги, розрахованої на напругу 110 кВ. При цьому він має бути у діелектричних рукавичках. Виконання операції знімання заземлень здійснюється з дотриманням обережності, як і під час їх установа.

Роботи із заміни чи ревізії проводів та лінійної арматури

Роботи з ремонту проводів та арматури ПЛ під напругою виконують так само, як і роботи із заміни ізоляторів: за нарядом, з дотриманням усіх тих самих правил виконання підготовчих операцій, огляду пристосувань і організації допуску бригади до робіт [11]. При цьому необхідно мати на увазі, що до початку робіт з переміщенням по проводах повинні бути замінені дефектні ізолятори в гірляндах, що обмежують ремонтний прогін.

Для робіт використовують підвісний монтерський стілець (**рис. 4.28**) або стілець-візок (**рис. 4.29**). Порядок доставляння візка чи стільця-візка до проводів ПЛ аналогічний розглянутим вище.

Так само електромонтер В1 із блоком нескінченного каната чи допоміжним канатом піднімається на траверсу опори по степ-болтах (на металеві опори), або інвентарними монтажними сходами, встановлює і закріплює блок нескінченного каната за траверсу (**рис. 4.30**). При цьому електромонтери Н1 і Н2 закріплюють другий блок нескінченного каната в межах стояка опори. Нескінченим канатом на траверсу опори подаються і монтуються опорні та підвісні блоки, через них пропускається поліпропіленовий канат для підйому стільця-візка з монтером і страхувальної системи підйому. Візок чи стілець-візок піднімають за допомогою лебідки, змонтованої на стояку опори. Поліпропіленові канати кріплять до візка через склопластикові ізолятори.

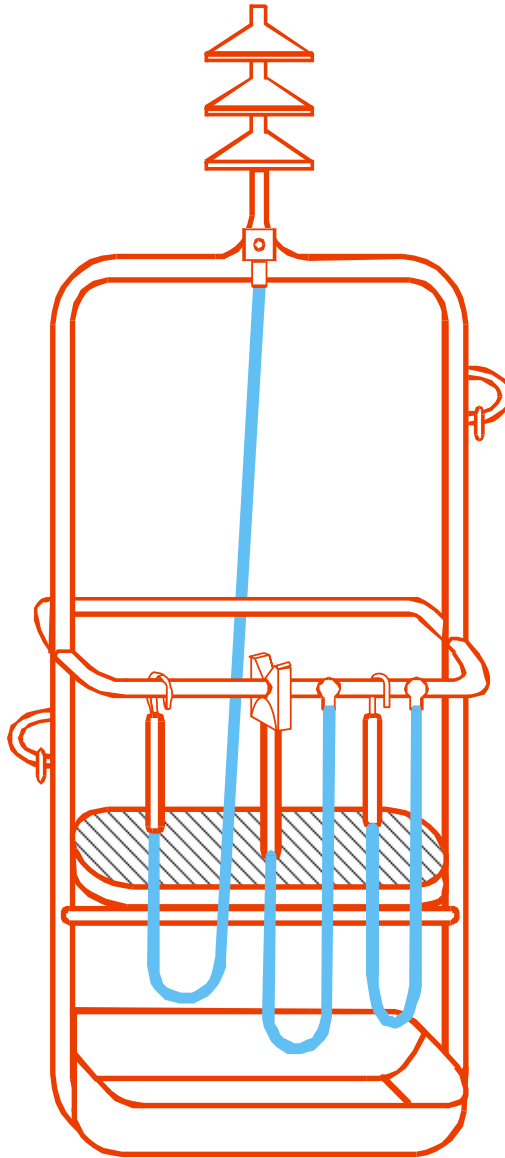


Рис. 4.28. Підвісний монтерський стілець з силовою, потенційною та допоміжною штангами переносу потенціалу

Спробний підйом візка до проводів виконується без електромонтера. При цьому випробовується вся кінематична схема підйому, а також виконується випробування всього оснащення робочою напругою протягом однієї хвилини. Потім візок за допомогою лебідки опускають на землю, і в нього сідає електромонтер В2, одягнений у спеціальний екрануючий комплект, який з'єднується провідними стрічками з корпусом візка. До візка приєднують штанги для переносу потенціалу.

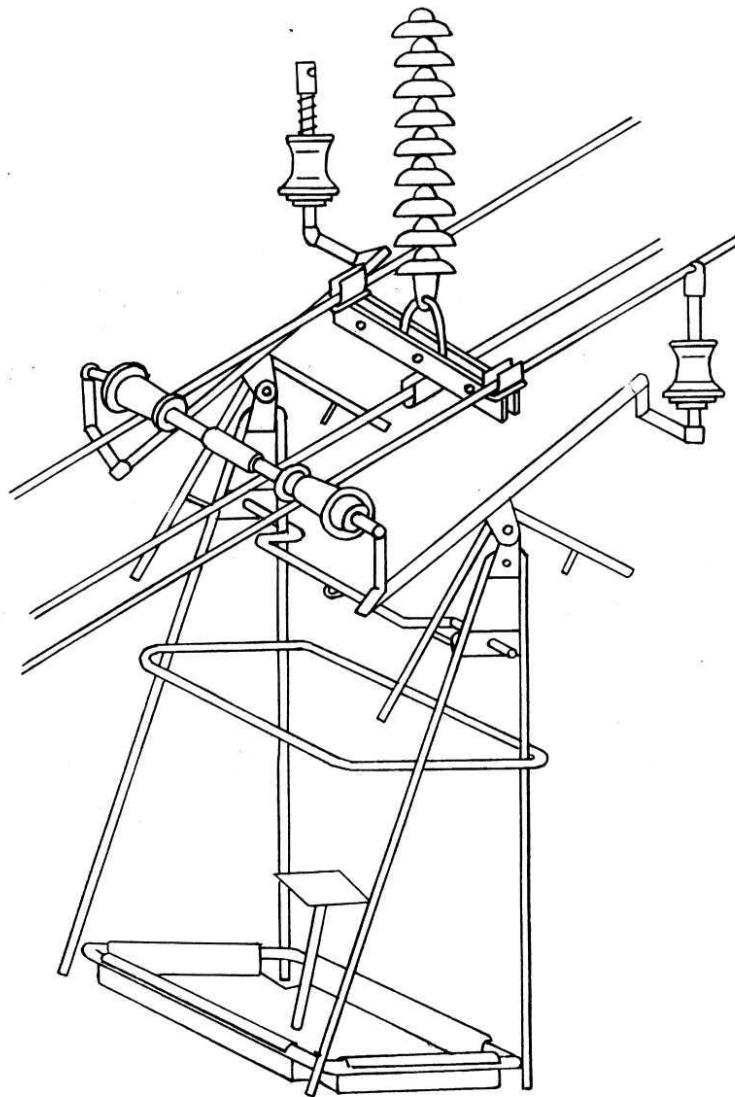


Рис. 4.29. Стілець-візок типу СТ-1 для підйому та переміщення по проводах ПЛ

Підйом візка до проводів і вихід на потенціал здійснюють так само, як і під час підйому в монтерському стільці для робіт із заміни ізоляторів. Після з'єднання візка з проводами виконують установлення (монтаж) і закріплення його на проводах ПЛ (**рис. 4.31**). При цьому необхідно установити страхувальний канат, охопивши проводи ПЛ зверху, що забезпечує додаткове страхування під час переміщення візка по проводах. Гальмовий пристрій візка завжди включено в роботу. Для переміщення по проводах необхідно натягати трос гальмового пристрою.

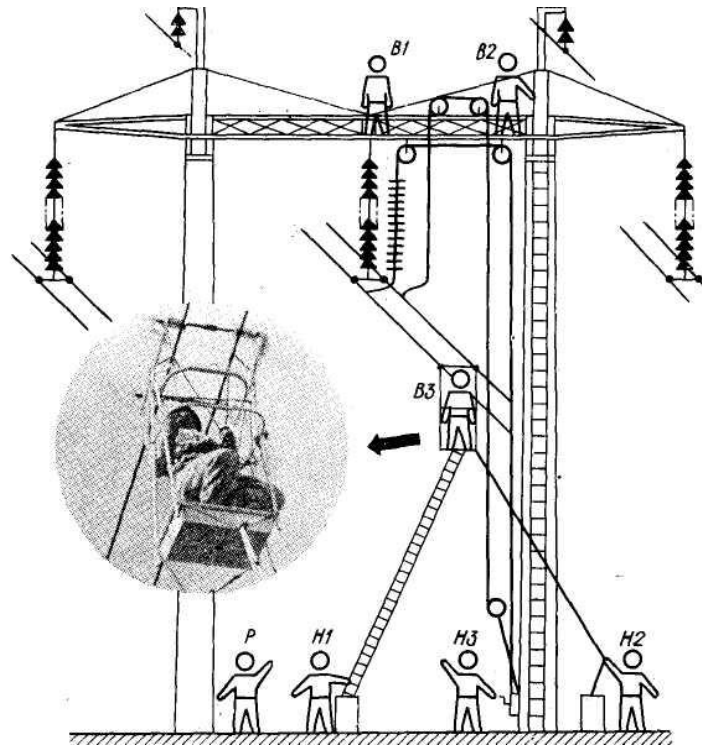


Рис. 4.30. Схема доставляння електромонтера до проводів ПЛ у стільці-візку



Рис. 4.31. Монтаж стільця-візка на проводах після його підйому

Приклад переміщення візка по проводах та виконання електромонтером, наприклад, ревізії розпірок наведено на **рис. 4.32**.



Рис. 4.32. Переміщення візка з електромонтером по проводах під час ревізії та ремонту розпірок

У разі, коли візок потрібно переміщувати під гірляндою, не потрібно демонтувати візок та знову монтувати його з іншого боку гірлянди. Для цього передбачено спеціальну схему (**рис. 4.33**), на якій позначено: 1 – страхова петля; 2 – ролики; 3 – важіль; 4 – захоплювачі; 5 – каркас візка; 6 – канати.

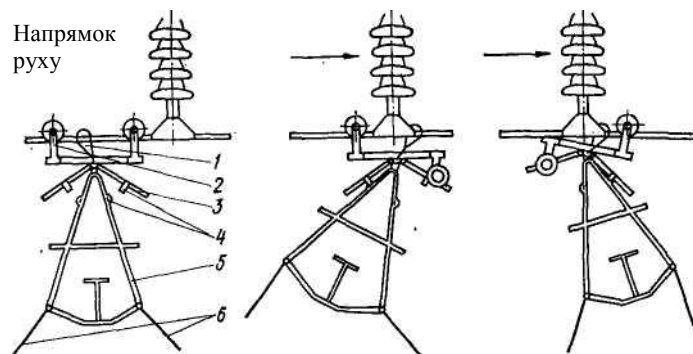


Рис. 4.33. Порядок переміщення візка під гірляндою

Черговість операцій під час проїзду під гірляндою така. Електромонтер В2, який перебуває у візку, за допомогою важеля 3 повертає візок у положення, за якого вісь центра ваги візка з монтером переноситься на одну пару роликів. Електромонтери Н1 і Н2, натягаючи канати 6, допомагають знизу установити візок у таке положення. Каркас візка 5 фіксується захоплювачем 4. Знімається кріплення осі та розводяться ролики 2. Звільняється гальмовий пристрій; електромонтери Н1 і Н2 канатами підтягують візок до гірлянди таким чином, щоб ролики візка підходили до підтримуючого затискача гірлянди. У цьому положенні відновлюють передню вісь візка. Переноситься страхувальний канат 2 на інший бік від підтримуючого затискача гірлянди. Звільняються захоплювачі 4, і візок установлюється на обох осях. За допомогою важеля 3 звільняється від навантаження друга вісь візка і розводяться ролики. Візок канатами відтягується від гірлянди на декілька метрів, після чого відновлюється друга вісь візка, звільняються захоплювачі 4, і візок готовий до переміщення по проводах у прогоні ПЛ.

Приклади безпосереднього перебування електромонтера на проводах ПЛ та здійснення ремонтних операцій ПРН наведено на **рис. 4.34 – 4.36**.



Рис. 4.34. Доставка електромонтера на місце роботи

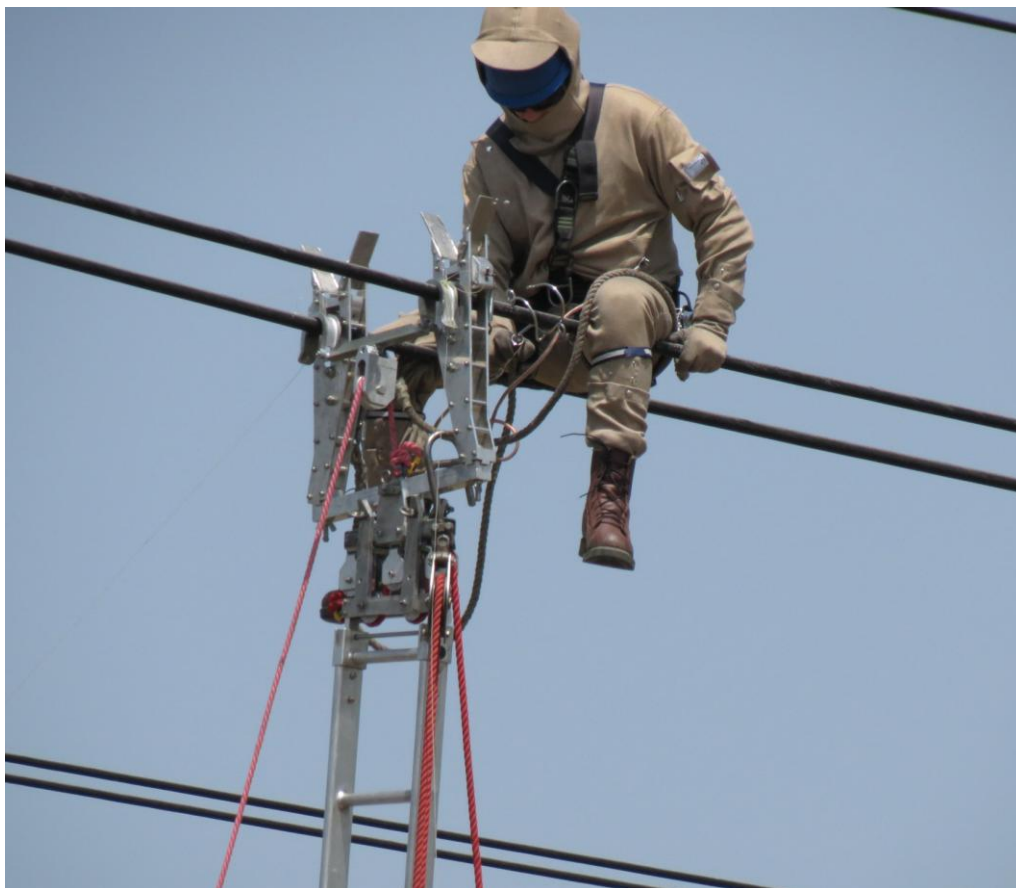


Рис. 4.35. Підготовчі операції



Рис. 4.36. Проведення робіт

4.6. Роботи під напругою в розподільних пристроях підстанцій

Роботи на відкритих розподільних установках із заміни ізоляції або, наприклад, ремонту ошиновування напругою 220 – 750 кВ виконують з використанням методів і технологічного оснащення, розробленого і застосовуваного на лініях електропередачі. При цьому для кожного виду робіт необхідно визначати безпечні відстані, що мають забезпечуватися не тільки до металоконструкцій і між фазами ошиновування (як на ПЛ), але і до устаткування, наявність якого ускладнює виконання робіт. Роботи мають виконуватись за нарядом спеціально навченим персоналом на чолі з керівником робіт. Проект виконання робіт має бути затвердженим головним інженером відповідного підприємства електричних мереж і відтворювати на плані підстанції технологічну послідовність виконання роботи [14].

Досвід проведення робіт у відкритих розподільних установках напругою 750 кВ показав допустимість застосування оснащення, призначеного для роботи на ПЛ. При цьому для виконання деяких видів робіт мають бути розроблені додаткові пристосування.

Технології ремонту ошиновування відкритих розподільних установок передбачають відповідні способи доставляння електромонтера в спеціальному стільці на проводи та окремі апарати відкритих розподільних пристроїв для виконання ремонтних робіт, найпоширеніші з яких – проведення заміни ізоляторів, ремонт проводів, контроль стану апаратних затискачів та їх підтяжка без відключення електроустановок.

Загальний вигляд відкритого розподільного пристрою підстанції наведено на **рис. 4.37**, проведення ремонту роз'єднувача під напругою – на **рис. 4.38**, доставляння електромонтера на трансформатор напруги за допомогою візка – на **рис. 4.39**, а ремонт спуску ошиновування трансформатора напруги 750 кВ на відкритому розподільному пристрої – на **рис. 4.40**.



Рис. 4.37. Загальний вигляд відкритого розподільного пристрою підстанції

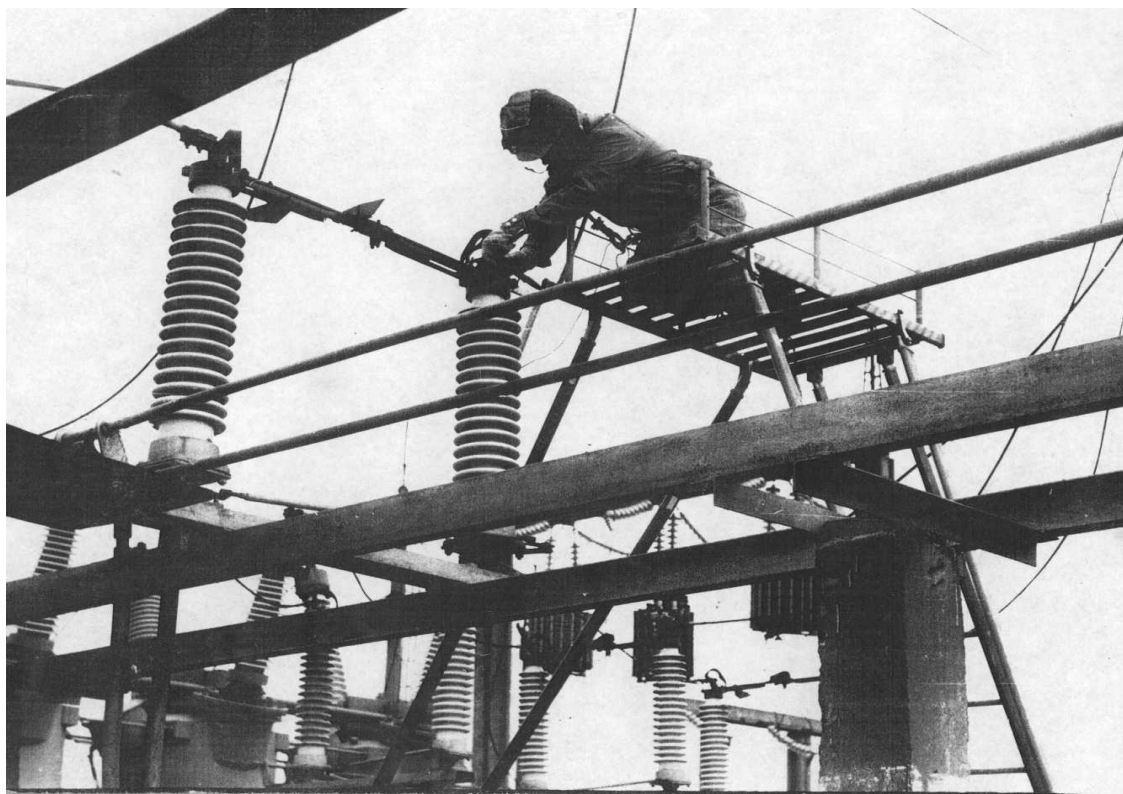


Рис. 4.38. Проведення ремонтних робіт на роз'єднувачі



Рис. 4.39. Доставляння електромонтера на трансформатор напруги за допомогою візка



Рис. 4.40. Виконання робіт під напругою на ошиновці та верхівці трансформатора напруги 750 кВ

Висновки

Наведено докладний опис організації підготовчого та проведення основного етапів робіт в електричних мережах 110 – 750 кВ та на розподільних пристроях підстанцій, що перебувають під робочою напругою. Проаналізовано схеми розміщення електромонтерів бригади під час виконання робіт з найпоширеніших видів ремонту елементів повітряних ліній електропередачі. Показано конструктивні особливості обладнання, що використовується під час виконання зазначених робіт.

Завдання для самоперевірки

1. Наведіть основні характеристики підготовчого етапу до виконання робіт ПРН в електричних мережах напругою 110 – 750 кВ.
2. Охарактеризуйте завдання, які постають перед кожним членом бригади, що виконує роботи ПРН.
3. Проаналізуйте вплив кліматичних умов на здійснення робіт ПРН.
4. Наведіть переваги та недоліки різних способів доставляння електромонтерів до місць виконання робіт під напругою.
5. Порівняйте особливості виконання найпоширеніших видів робіт ПРН на проміжних та анкерних опорах ПЛ класів напруги 110 – 220 та 330 – 750 кВ.
6. Проаналізуйте схему роботи електромонтера у стільці-візку.
7. Наведіть приклади виконання робіт ПРН в розподільних пристроях підстанцій електричних мереж.

РОЗДІЛ 5

РОБОТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ З ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ПІД РОБОЧОЮ НАПРУГОЮ

Мета викладеного у розділі матеріалу:

- ознайомлення зі світовим та вітчизняним досвідом впровадження автоматизованих роботизованих комплексів для обслуговування електричних мереж під робочою напругою;
- порівняння особливостей виконання роботизованих комплексів різних конструкцій;
- докладне дослідження новітньої технології із заміни тросу на ПЛ напругою 750 кВ за допомогою роботизованого комплексу.

Виконання робіт ПРН традиційними методами пов'язано із великими фізичними навантаженнями виконавців, можливістю травмування персоналу через роботи на висоті, поблизу струмопровідних частин, що знаходяться під напругою, із несприятливим впливом потужних електромагнітних полів. При цьому робітники протягом багатьох годин працюють на висоті в хиткому положенні в ізолювальному одязі, використовуючи електричні ізолювальні пристрої. Дуже важко знайти робітників, які б бажали працювати в таких умовах, тому останніми роками в електричних мережах істотно скорочувалась кількість молодих працівників і зростала кількість літніх осіб, що виконували роботи із застосуванням технологій робіт ПРН [10].

Отже, у багатьох країнах інтенсивно розробляються методи і засоби робіт ПРН, які зменшують ці несприятливі моменти. Найперспективнішим з них є застосування дистанційно керованих і роботизованих систем.

Такі дослідження проводяться, зокрема, в США, Японії, Канаді, Франції, Іспанії, Китаї і деяких інших країнах. В Україні і в інших країнах СНГ такі дослідні роботи перебувають на початковому етапі.

Нижче наведено стислі відомості про досвід розроблення роботизованих комплексів для обслуговування електричних мереж під робочою напругою у деяких країнах [14].

5.1. Розроблення роботизованих комплексів для обслуговування електричних мереж під робочою напругою у США

Перші відомості щодо використання роботів для виконання ПРН у США наведено в доповіді американських фахівців на сесії CIGRE у 1988 р.

Було надано результати випробування дослідного зразка дистанційно керованого маніпулятора-робота, придатного для виконання робіт ПРН.

Установку було змонтовано на автопідйомнику з ізолювальною вставкою класу напруги 345 кВ. Керування роботом велось з кабіни на шасі автомобіля. Робот виконував найпростіші операції за заздалегідь уведеними програмами, а оператор виконував складні види робіт і корегував роботу автоматики. Установка містила відеокамери для безпосереднього спостереження за робочим простором.

Робот являв собою руку-маніпулятор, що мала сім ступенів свободи (6 плюс захоплювання). Він мав можливість оперування зі знімними пристосуваннями. Для пересування робота могли бути використані гідравлічні підйомники з ізолювальною вставкою або візок для переміщення по проводах. На потенціалі струмопровідних частин живлення здійснювалося від генератора змінного струму з гідравлічним приводом або від акумуляторної батареї. Зв'язок оператора з пристроєм здійснювався за допомогою волоконно-оптичного каналу.

Маніпулятор (робот, стріла, рука) двобічної дії зі зворотним зв'язком щодо зусилля з можливістю навчання за допомогою ЕОМ було виконано за схемою «командир – виконавець», радіус дії маніпулятора: вертикальний – 157 см, горизонтальний – 130 см, максимальна вантажопідйомність маніпулятора – 45 кг. Разом з маніпулятором застосовувалося дві телекамери.

Експериментальне випробування пристрою з роботом було проведено на полігоні надвисокої напруги на фазі 230 кВ із трьома розщепленими проводами, закріпленими на П-подібних дерев'яних опорах висотою 25 м за допомогою підвісної гірлянди з 14 ізоляторів.

Випробування було проведено в умовах сніжної бурі з температурою мінус 13 °С і випадання 20 – 25 см снігу.

У реальних умовах випробування було проведено на ПЛ 345 кВ у штаті Нью-Мексико під час дуже високих температур і сильного вітру, що супроводжувався летінням великої маси піску. Висота проводів над землею становила 26 м.

Як платформу використовували гідравлічний підйомник з телескопічною стрілою 30 м і ізолювальною вставкою з ребристого склопластику.

Випробування було проведено практично без зауважень. Потім були виконані практичні заняття, під час яких демонструвалися такі роботи:

- заміна запобіжника 13 кВ;
- установка тимчасового гака на траверсі низької напруги;
- заміна гірлянди з 5 ізоляторів;
- установка нейлонового бандажа на дерев'яній траверсі;
- кріплення розпірки на розщепленому проводі;
- монтаж кабельної муфти;
- відключення роз'єднувача в підземному розподільному пристрої;
- демонтаж струмопроводу на підвісному комутаційному пристрої.

Дослідний зразок роботизованої системи використовувався в розподільному пристрої однієї атомної електростанції для обмивки охолоджувачів трансформатора. Результати, отримані на дослідному зразку, не залишають сумнівів у тім, що система може успішно виконувати широке коло завдань щодо технічного обслуговування. У деяких випадках вона може виявитися єдиним або найпрактичнішим рішенням.

Переваги, що одержує електромонтер у разі застосування роботизованої системи:

- захищеність від погодних умов;
- можливість створення значних навантажень без додавання фізичних зусиль монтером;

- захищеність від впливу електричного поля;
- віддаленість від шляху дугового розряду у разі пробою ізоляції.

У разі помилки чи під час випадкового короткого замикання маніпулятор може бути ушкоджений, але лінійний монтер не постраждає.

Американським Південно-Західним дослідним інститутом (SWRI) спільно з комерційними фірмами розроблено і виготовлено систему TOMCAT (Teleoperator for operations, maintenance, and construction using advanced technology – Телеоператор для маніпулювання, обслуговування і монтажу за удосконаленою технологією), призначену для робіт ПРН на ПЛ 220 – 1200 кВ. Конструктивно система складається з блоків, змонтованих на автомобілі підвищеної прохідності, що забезпечують найменші коливання стріли вишки підйомника у разі робіт у польових умовах. Стріла підйомника – телескопічна з ізолювальною змінною ланкою. Кабіна оператора знаходиться на платформі автомобіля (унизу). Роботи виконуються маніпулятором, розташованим угорі на стрілі підйомника. Маніпулятор виконано одноруким, тому що властиві йому характеристики підходять для виконання робіт ПРН.

Система керування – за допомогою контролера, комп'ютера і оптоволоконного кабелю. Живлення електронних схем і електродвигунів маніпулятора – від кислотних батарей.

На стрілі кріпиться алюмінієва платформа, акумулятор, блок керування, турбіна-генератор, стелаж з інструментом. У кабіні оператора – два монітори (по одному на кожну камеру), пристрій для завдання маніпулятору, ручний пристрій маніпулятора (джойстик), панель керування з перемикачами.

У перших варіантах система забезпечення рівня на вантажному автомобілі встановлювала маніпулятор у вертикальному положенні незалежно від положення стріли. Монтажна конструкція передбачала розміщення батарей акумуляторів блоку керування з будь-якого боку стріли.

У системі застосовувалась волоконна оптика для забезпечення безпечної електричної розв'язки між оператором і маніпулятором, коли останній знаходиться під напругою лінії. Живлення компонентів волоконної оптики напругою 12 В постійного струму здійснювалося від батареї кислотних акумуляторів.

До складу ТОМСАТ також входить дистанційна телевізійна система стеження. У цій системі використані дві камери на приладах із зарядовим зв'язком і автоматичним регулюванням ірисової діафрагми, а також фіксовано фокусні об'єктиви. Об'єктив 15 мм використовувався для близького спостереження, а об'єктив 8,5 мм – для забезпечення загального зображення. Камеру 16 мм було встановлено на панорамній голівці з гідравлічним приводом, а камеру 8,5 мм було зафіксовано. У кожної камери був власний монітор і кожна камера з'єднувалася зі своїм монітором волоконно-оптичним кабелем.

Загальний вигляд системи ТОМСАТ наведено на **рис. 5.1**, а принципову схему маніпулятора – на **рис. 5.2**, на якому позначено: 1 – джерело живлення; 2 – блок керування; 3 – відеокамери; 4 – рука маніпулятора; 5 – пластина опорна; 6 – змінний інструмент; 7 – захоплювач.

Для перевірки працездатності системи було проведено випробування з відключенням напруги. Головним чином досліджувалися: радіус дії; гнучкість і стійкість; методика роботи з ізоляторами; здатність застосовувати інструменти для заміни виробів; розміщення телекамер; демонстрація роботи системи. У результаті досліджень визначено, що на функціональні дії сильний вплив чинять перехідні процеси під час дугових розрядів, що виникають у разі змикання або розриву контакту. Для унеможливлення цих явищ було виконано екранування й внесено інші конструктивні зміни для систем з великими струмами і високою напругою. У результаті було констатовано, що система ТОМСАТ отримала належну стійкість до дії електричних полів високої напруги, що виникають під час роботи на електроустановках ПРН.

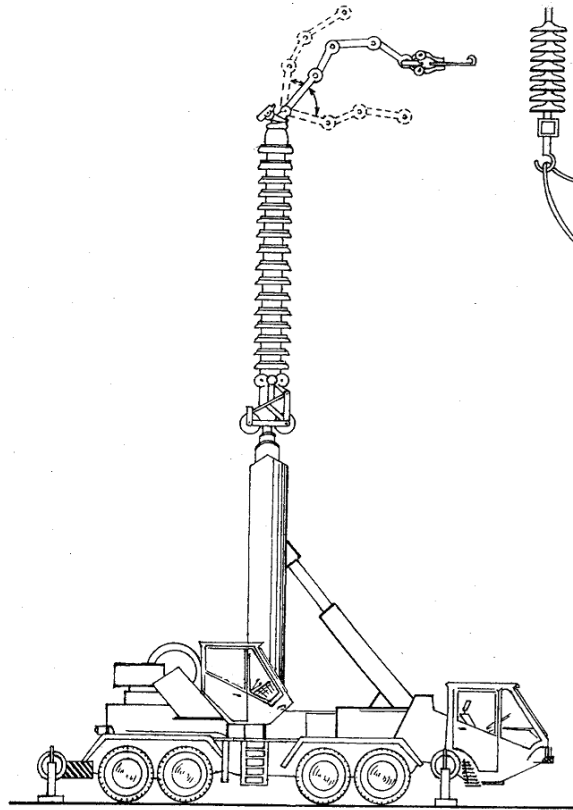


Рис. 5.1. Загальний вигляд системи TOMCAT

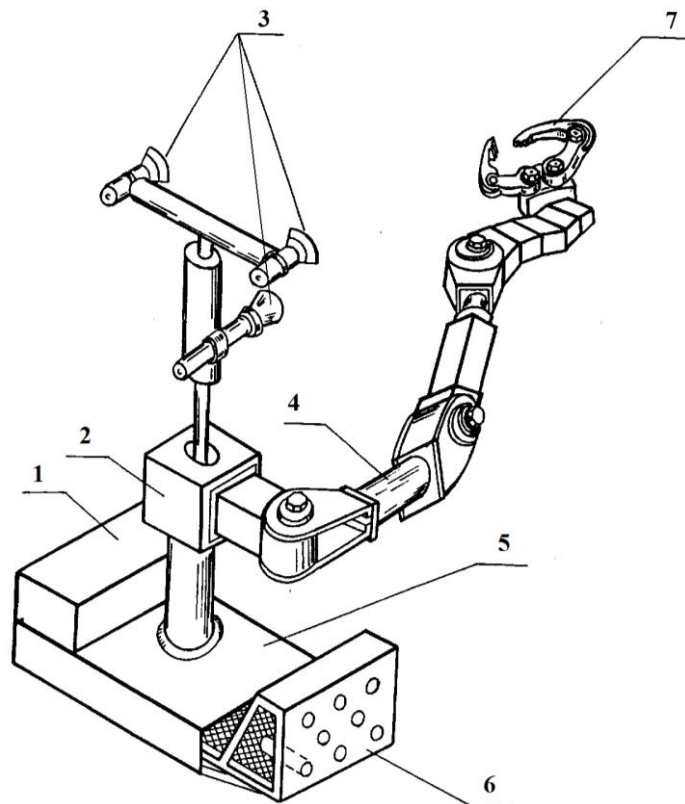


Рис. 5.2. Принципова схема маніпулятора

Іншою метою досліджень було з'ясування здібностей робота та підтримуючих маніпуляторних систем працювати в холодних умовах навколишнього середовища.

Демонстраційні випробування дозволили зробити такі загальні висновки:

- протягом трьох годин було виконано роботу, яку зазвичай виконували три чоловіки. Під час порівняння істотні переваги на користь роботизованої системи визначились у разі роботи на ПЛ під напругою в сніжну і вітряну пору. Як було показано під час випробувань, таку роботу не могло бути виконано експлуатаційним персоналом в подібних умовах;
- під час роботи ТОМСАТ постійно підтримувався проміжок до землі не менше 1,5 м;
- визначено потребу і було виготовлено спеціальний інструмент для підтримки Y-образного з'єднання на знеструмленому кінці вузла ізоляторів;
- захоплення провідника здійснювалось з кінця під напругою;
- не менш 75 % ізоляторів залишалися в робочому стані і були незакороченими в будь-який момент часу, забезпечувалося достатня ізоляція для подаваної напруги.

Крім того, було розроблено спеціальне кріплення, яке розташовувалося на підвісному затискачі для підтримки орієнтації з'єднувача підвісного затискача на ізоляторі підвісної гірлянди. Кріплення встановлювалося до роз'єднання, інакше було б складно повторно здійснити це з'єднання. Штанговий вузол застосовувався для витягування і опускання дефектних ізоляторів.

Один з головних висновків, зроблених на даній стадії процесу розроблення, полягав у тім, що необхідно виготовити ряд специфічних нових інструментів, форма яких була аналогічна інструментам, що застосовувалися під час робіт методом ізолюючих штанг під напругою. В міру розроблення робота кількість додаткових або спеціалізованих інструментів, необхідних для проведення робочих операцій, ставала усе меншою.

Було визнано необхідним модифікувати чи удосконалити існуючі засоби під час роботи з ізолювальними штангами під напругою для їх застосування системою ТОМСАТ під час роботи із переміщуваними по проводах механізмами. Крім того в полі зору розробників продовжували залишатися такі проблеми: поліпшення умов роботи оператора для підвищення ефективності; зменшення стомлюваності і зниження обсягу випадкових переміщень; поліпшення спостереження і більш зручне розташування органів керування; удосконалення модульної конструкції системи; поліпшення герметичності системи; оснащення системи засобами. Що забезпечують можливість роботи під час виникнення льоду або в умовах туману.

5.2. Розроблення роботизованих комплексів для обслуговування електричних мереж під робочою напругою у Канаді

Канадські фахівці також досліджували можливість дистанційного керування роботами під час здійснення робіт під напругою у розподільних мережах. Метою роботи був розрахунок і порівняння часу виконання робіт за допомогою дистанційного керування і виконання робіт традиційними методами з використанням підйомників (рукавичним і штанговим методами).

Три монтери виконували ту саму роботу кілька разів кожним з методів. Результати показали, що продуктивність праці у разі дистанційного методу становить близько 0,5 від продуктивності рукавичного методу і 0,7 від штангового методу.

Було проведено дослідження порівняння часу робіт у разі використання дистанційного керування (Т) із двома традиційними методами: підйомник - рукавички (S) і підйомник - штанги (В). Ці дослідження є частиною програми аналізу досвіду застосування дистанційного керування, перевірки його працездатності.

Це дозволило дослідникам і інженерам зрозуміти основні фактори, що впливають на продуктивність методу робіт під час дистанційного керування, і допомогти розроблювачам створити деякі пристосування для зменшення робочого часу у разі дистанційного керування (UT). Роботи проводилися з першим прототипом робота UT, упровадженим компанією Хайдо Квебек, призначеним для робіт під напругою на повітряних розподільчих лініях 25 кВ. Цей прототип було виготовлено у 1992 році в співдружності з багатьма індустріальними партнерами. Хоча використання дистанційного керування під час робіт під напругою в електричних мережах не є унікальним, є багато деталей для дослідження, що дозволяють оцінити метод. Досліджувалися телеоперуємі роботи під напругою на електричних розподільних ПЛ. Передбачалося визначити чи дозволяє телекерування з землі виконувати поставлені завдання. Метою роботи було підрахувати і порівняти роботу бригад під час використання трьох робочих методів:

- штангового методу з використанням підйомника;
- дистанційного керування з кошика підйомника без зворотного зв'язку за зусиллям;
- дистанційного керування з землі.

Три бригади брали участь в експерименті, у ході якого вони виконували ту саму роботу кілька разів, використовуючи кожну технологію. Результати випробувань показали відносну продуктивність праці порівняно зі штанговим методом:

- 0,6 у разі дистанційного керування з кошика (зі зворотним зв'язком за зусиллям);
- 0,5 те саме, але без зворотного зв'язку;
- 0,3 у разі керування з землі.

Порівняно з продуктивністю у разі керування з кошика і зі зворотним зв'язком співвідношення складають 0,9 для керування з кошика, але без зворотного зв'язку і близько 0,8 для телекерування з землі.

Ці співвідношення поліпшуються з підвищенням досвіду, і, тим паче, з поліпшенням технології.

Основними перевагами телекерування з землі є:

- вилучення працівника з найбільш небезпечної частини робочої зони;
- метод дозволяє легше і компактніше спроектувати елементи системи, що піднімаються;
- метод дозволяє забезпечити телеоперування в стиснутій важкодоступній зоні з несприятливими умовами.

У процесі досліджень було розроблено прототип дистанційної відеосистеми. Випробування цього прототипу дозволило виконати деякі з типових робіт на повітряних лініях з використанням різних технологій.

Випробування проведено на відключеній лінії в лабораторії Хайдро-Квебекського дослідницького інституту у Вареннесі. Було споруджено однофазну опору висотою близько 6 м, що забезпечило застосування автопідйомника з виконанням робіт штанговим методом. Друга конструкція, ідентична першій, була висотою 3 м для телеоперуємої технології. Використовувалися датчики, сумісні з комп'ютером, для фіксації часу і три відеомагнітофони.

Штанговий метод з використанням підйомника. Застосовувався автомобільний підйомник. Спочатку він розташовувався поруч з опорою і запускався двигун. Монтер розташовувався в кабіні. Така початкова позиція вибиралася для кожної технології. Піднімався кінець нижньої ланки підйомника, верхня ланка поверталась назад. Ізолюючі штанги довжиною 1,8 м кріпилися спеціальними затискачами до стояка опори.

Роботу було організовано таким чином, що один виконавець мав змогу виконувати роботу без допомоги інших виконавців.

Телеоперації в кабіні на стрілі підйомника зі зворотним зв'язком за зусиллям і без нього. Було випробувано два методи: зі зворотним зв'язком за зусиллям та без нього. Був виготовлений спеціальний прототип телеоператора.

Кабіна керування розміщувалася на кінці малогабаритного підйомника і мала можливість повертатися на горизонтальній осі. Рука маніпулятора керувалася за допомогою рукоятки для правої руки робітника. У цій технології коефіцієнт зворотного зв'язку складав 10, тобто у разі зусилля 200 Н, зусилля на рукоятці складало 20 Н. Зусилля менше за 50 Н системою не відчувалося.

Технологія телеоперацій з рівня землі. Для цієї технології було розроблено іншу кабінку. Вона була копією кабінки для підйомника, але доповнена відеотерміналом і була віддалена від робочої зони приблизно на 10 м. Таким чином, були два вузли: кабінка керування на землі і платформа з маніпулятором, камерами й інструментом. Коефіцієнт зворотного зв'язку залишався незмінним.

Усього використовувалося 5 кольорових камер. Перша стереоскопічна камера мала поле зору 40 градусів і фокусну відстань 1,2 м. Вона використовувалася для спостереження за інструментом, або для того, щоб одержати кращий огляд рухів і наближень. Друга стереоскопічна камера мала поле зору 30 градусів і фокусну відстань 2,2 м, вона використовувалась для керування розташуванням устаткування на випробуваній опорі. Третя нормальна камера мала поле зору 70 градусів, вона давала загальний огляд, синхронізований з оглядом перших двох камер.

Ці камери було встановлено з можливістю повороту за азимутом з різною швидкістю (0-20 градусів/с). Дві (права і ліва) допоміжні камери мали поле зору 45 градусів і були встановлені з іншого боку платформи біля її основи. Чотири відеоекрани кабінки керування було встановлено так: головний екран (40 см), даючи зображення однієї із стереокамер, розташовувався перед робітником, верхній екран (33 см), даючи загальне зображення синхронізоване зі стереозображенням, екрани для правої і лівої камер розташовувалися праворуч і ліворуч від головної камери.

З кабінки керування здійснювалися:

- підйом установки;

- поворот кабіни;
- керування гідравлічним інструментом;
- установа за допомогою рукоятки керування;
- керування відеокамерами і вибір стереокамери;
- включення гідросистеми;
- аварійна зупинка.

З цієї кабіни робітник міг безпосередньо спостерігати за робочою зоною.

Виконавцям перед випробуваннями було надано відповідні інструкції, дослідники контролювали якість робіт і відповідність їх порядку і нормам безпеки. Підрахунок часу виконання починався із сигналу дослідника і завершувався коли виконавець знімав останній захисний бар'єр. Виконавців інформували про час. Результати порівняння наведено у **табл. 5.1**.

Для штангової технології на відеокамеру з мікрофоном записували як виконавець працював на опорі. Для телеоперацій з кошика використовувались дві такі камери. Перша знімала виконавця в кабіні, а друга давала загальний вид системи телеоперування і випробуваної конструкції. Для телеоперацій із землі було використане зображення зі стереоскопічної камери. Час записувався безпосередньо на зображенні.

Таблиця 5.1. Порівняння середнього часу виконання робіт

Метод робіт	Середній час виконання робіт, хв.	
	у хвилинах	у відн. одиницях
Штанговий	5,6	1,0
Телеоперації зі зворотним зв'язком	9,9	0,8
Телеоперації без зворотного зв'язку	11,1	0,5
Телеоперації з землі	17,4	0,3

Співвідношення продуктивності праці розраховувалося як час виконання базового методу робіт, поділений на час іншого методу. Використовуючи штанговий метод як базовий, отримана відносна продуктивність праці.

5.3. Розроблення роботизованих комплексів для обслуговування електричних мереж під робочою напругою у Японії

В Японії розроблення робота для виконання робіт ПРН почалося у 1984 році. Першим кроком було створення прототипної моделі – змонтованого на землі дворукого маніпулятора для робіт у розподільних мережах. Було випробувано методи керування джойстиком і за допомогою системи «господар-раб».

Другим кроком була перевірка функціонування системи під час робіт у розподільних мережах. Було виготовлено і змонтовано на автомобілях експериментальні системи з «дворуким» маніпулятором на телескопічному автопідйомнику (**рис. 5.3**). Одну систему було зроблено керованою з корзини, а другу – із землі.

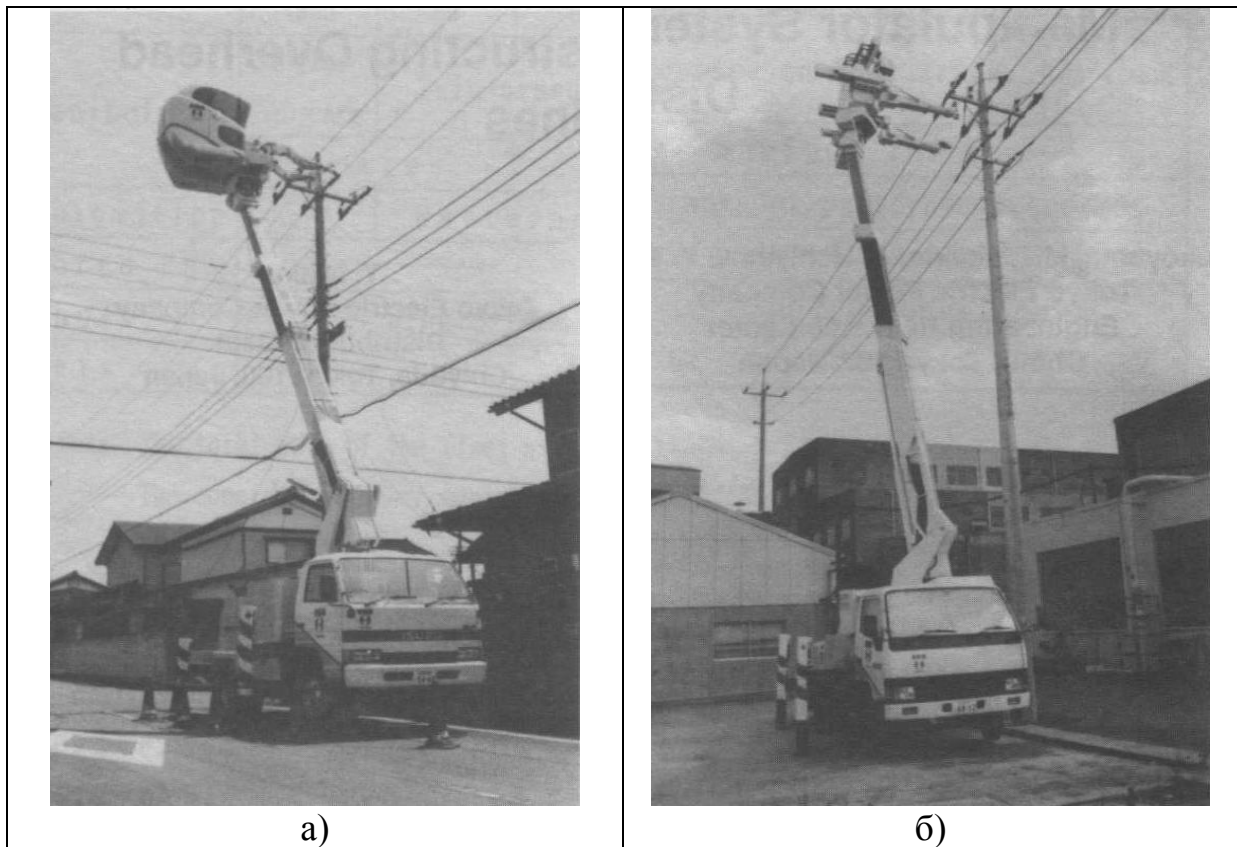


Рис. 5.3. Загальний вигляд маніпуляторної системи:
а – керування з верху стріли; б – керування з кабіни авто

Третім кроком був аналіз результатів випробувань та розроблення двох типів комерційних систем за результатами першого та другого кроків за такими критеріями:

- можливість застосовувати існуюче устаткування;
- малогабаритність і легкість автомобіля для монтажу устаткування (такий самий, як і використовуваний автопідйомник);
- якісна ізоляція (кабіни, стріли, маніпулятора);
- висока оперативність (можливість керування після 7-денного навчання);
- достатня надійність системи.

Загальний вигляд маніпулятора, що керується з землі, наведено на **рис. 5.4**.



Рис. 5.4. Загальний вигляд маніпулятора, що керується з землі

На **рис. 5.5** наведено схему маніпуляторної системи, керованої з корзини. Оператор в кабіні, змонтованій на кінці стріли, керує системою, безпосередньо спостерігає за об'єктом, перебуваючи позаду маніпулятора.

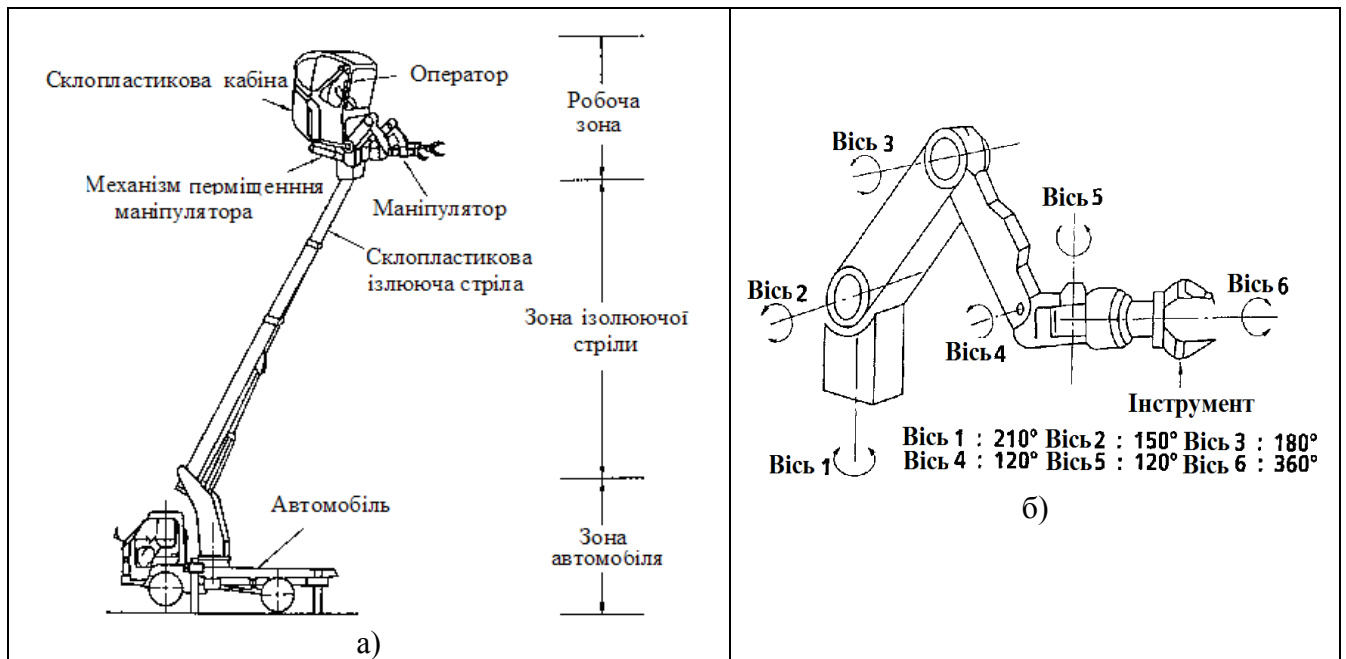


Рис. 5.5. Схема маніпуляторної системи, керованої з корзини:

а – схема системи; б – схема маніпулятора

Ізольована від стріли робоча частина складається зі склопластикової кабіни, в якій сидить оператор, і двох маніпуляторних рук з шістьма ступенями свободи. Маніпуляторні руки виконують ті самі функції й рухаються майже так само, як руки людини. Маніпуляторна секція має механізм ковзання, який пересуває весь механізм маніпулятора на 600 мм вперед і назад, забезпечуючи наближення до крайньої фази у разі горизонтального розташування проводів. Знімна підйомна стріла, яка керується оператором з кабіни і змонтована між двома руками маніпулятора, забезпечує підйом устаткування. Маніпулятор виконано з гідравлічним приводом. Тиск масла передається через трубки усередині стріли від маслососа.

Грунтуючись на результатах перевірки на другій стадії, встановлено, що система маніпулювання «господар-раб» найкраща у разі робіт з безпосереднім торканням та під час наближення, а використання джойстика найкраще у разі позиціонування. Оператор може вибирати потрібний тип операції. Сила зворотного зв'язку керування прикладена до всіх осей, крім осі зап'ястя, що обертається.

У разі операції «господар-раб» будь-яка відмінність тиску в гідравлічних циліндрах, що з'являється під час дії зовнішньої сили, використовується як сигнал визначення сили. На осях 2, 3 і 4 (рис. 5.5) передбачено автоматичну компенсацію ваги. У разі керування джойстиком шість осей можна контролювати одним джойстиком.

Для виконання робіт на проводі (захоплення, знімання ізоляції, різання проводу та інші) було виготовлено понад 20 різних інструментів. На **рис. 5.6** наведено загальний вигляд захоплювача, а на **рис. 5.7** – очищувача проводу.

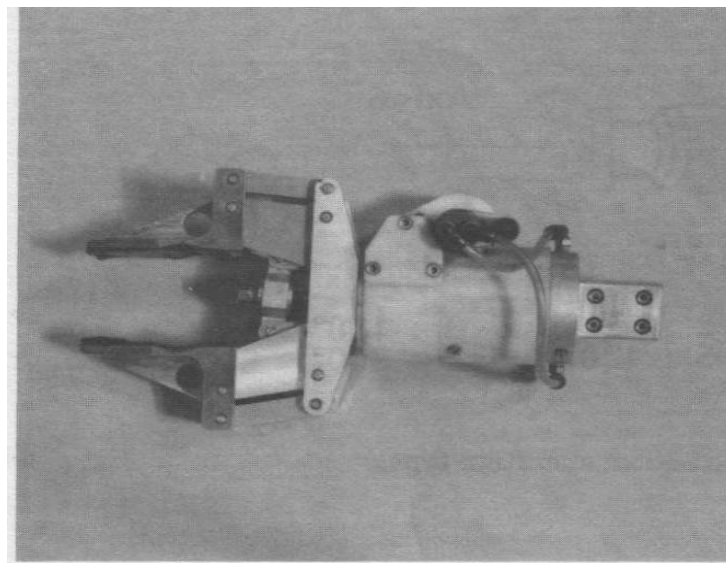


Рис. 5.7. Захоплювач

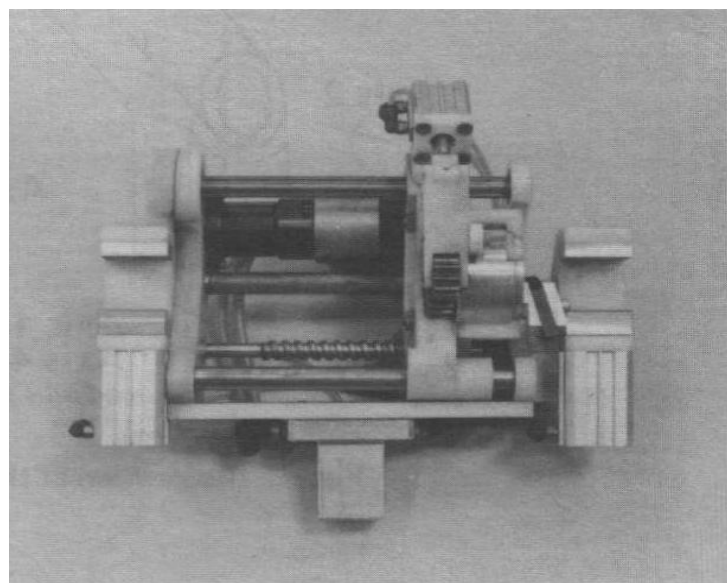


Рис. 5.8. Очищувач проводу

Для забезпечення необхідної електричної ізоляції і високої міри свободи інструменти здебільшого виконано з пневмоприводом, а гідравлічний привід використано для інструментів, які вимагають значних зусиль (різання проводу або його опресування). Система, керована з корзини на стрілі, сконструйована таким чином, що оператор із кабіни може замінювати інструмент на кінці руки.

Оскільки японські дороги здебільшого вузькі і завантажені, а місця паркування телескопічного підйомника обмежені, маніпулятор було змонтовано на майже такому самому автомобілі, як і при звичайній експлуатації. Для зменшення габаритів і полегшення автомобіля було вжито такі заходи:

- для зниження центру тяжіння автомобіля під час роботи і витяжці стріли поворотний стіл було змонтовано безпосередньо позаду кабіни шасі;
- зменшено задній домкрат ширини і домкрат довжини, кількість контейнерів домкратів зменшено до одного, а бічні секції було виконано з алюмінію, що значно зменшило вагу;
- для поліпшення оперативності стріли додано керовані комп'ютером програми горизонтального і вертикального руху, що забезпечували висунення телескопічної частини, поворот і підйом вантажу;

В Японії більшість розподільних ПЛ розташовано у щільно заселених місцях, тому шум від телескопічного підйомника треба було зменшити до мінімуму, для чого систему було забезпечено двома шумоглушниками: одним – для приводу стріли і другим – для приводу маніпулятора і гідравлічного генератора робочої частини, що дозволило зменшити шум до 10 дБ.

Загальний вигляд керованої з землі маніпуляторної системи наведено на **рис. 5.9**. Оператор з кабіни дистанційно керує маніпулятором, встановленим на кінці стріли, а місце безпосередньої роботи маніпулятора бачить через монітор з об'ємним зображенням і бокові монітори.

На відміну від системи, що оперується з кабіни, яку розташовано на стрілі, в системі, що оперується з землі, оператора віддалено від місця робіт і він не може допомагати в заміні інструменту.

Оскільки ця система працює без втручання людини, вона забезпечує підвищення безпеки. Оператор не піднімається до робочого місця, а перебуває далеко від елементів ПЛ під напругою.

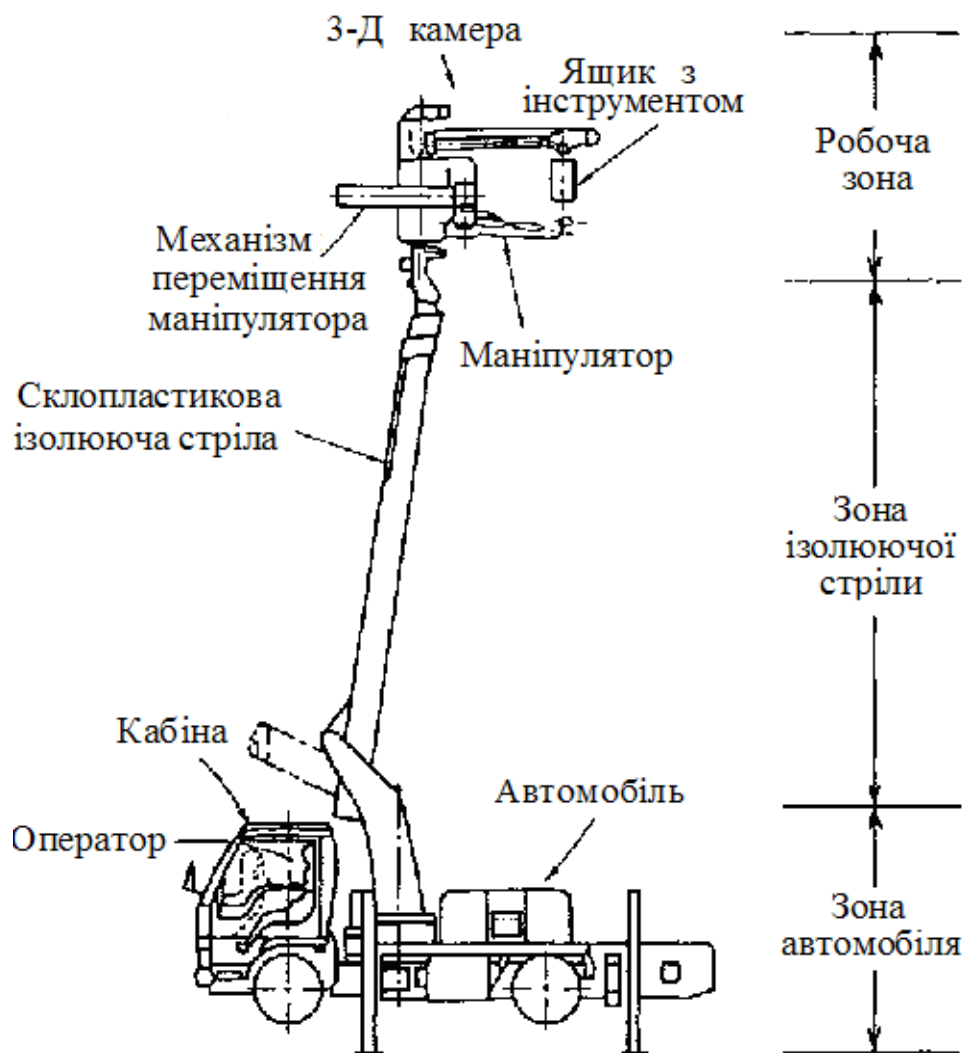


Рис. 5.9. Схема маніпуляторної системи (оперування із землі)

Система складається з робочої і маніпуляторної частин, а також стріли і автомобіля.

Робоча частина на кінці стріли має дві маніпуляторні руки з шістьма ступенями свободи. Робоча частина має камеру об'ємного зображення, яка нахиляється вгору і вниз, повертається праворуч і ліворуч і пересувається вправо і вліво, а також 5 додаткових камер (огляд крана, огляд правого і лівого боків, огляд зверху і знизу).

Маніпуляторна частина має механізм ковзання, який пересуває всю споруду правої і лівої руки маніпулятора на 700 мм вперед або назад, чим збільшує наближення до об'єкта роботи.

Стріла крана, змонтована зверху робочої частини, може висуватися, повертатися і має лебідку для підйому устаткування. Ящик з інструментом на кінці стріли розташовано таким чином, що маніпулятор під час заміни інструменту перебуває під постійним контролем.

У разі горизонтального розташування проводів ПЛ маніпулятор працює між високовольтними і заземленими проводами, тому він має рухатися вперед і назад усередині обмеженого вертикального простору. Тому застосовано маніпулятор із полярними координатами і телескопічним механізмом в осі 3 (рис. 5.5).

Для забезпечення електричної ізоляції між кінцем «руки» маніпулятора і її «суглобом» передбачено:

- генератор потужності для подачі енергії в датчики зусиль 6-вісного маніпулятора і в перетворювач;
- джерела руху осей 5 і 6 (розміщені всередині осі 3), а зусилля передаються через склопластикові трубки;
- оптична лінія для передавання інформації від 6-осних датчиків зусиль;
- пневмо-гідравлічний привід для змонтованого на кінці маніпулятора інструменту.

Також виконано склопластикове покриття зовнішніх поверхонь рук маніпулятора для уникнення міжфазного к.з. і замикання на землю. Зусилля передаються не канатами, а стрижнями, що забезпечує жорсткість і збільшує вантажопідйомність.

Як і для системи з керуванням з кабіни на стрілі, оператор, який перебуває в кабіні автомобіля, може вибрати систему операцій: керування дворуком «господарем-рабом» (як більш інтуїтивне і легко виконуване), або керування джойстиком (дозволяє більш швидкісне регулювання лінійним рухом).

Оскільки кабіна оператора розміщена на сидінні автомобіля, простір для керування виявився дуже малим.

Якщо рука «господаря» також полярно-координатного типу (як і у маніпулятора), іноді важко виконувати необхідні операції. Для уникнення таких проблем застосовують різні конструкції систем «господар-раб» (відрізняються структурою). В результаті використано руку «господаря» прямокутно-координатного типу, яка має простий механізм, а зв'язок між «господарем» і роботом, а також керування джойстиком здійснюються через контролер.

Сила зворотного зв'язку за двостороннім контролем, який вважається ефективним під час робіт, що вимагають точного позиціонування, передається через підсилювач потужності у напрямку 6 осей (у разі операцій «господар-раб»). Тому оператор може відчувати силу, що додається до маніпулятора, чим підвищується оперативність і безпека.

Функція моніторингу – одна з основних для маніпуляторної системи, керованої із землі. Отримані результати показують, що інформація від камери з об'ємним зображенням і декількох додаткових камер достатня для виконання робіт ПРН. Тому на третій стадії основні зусилля було спрямовано на полегшення спостереження за зображенням.

Було проведено випробування чотирьох типів операцій ПРН (роботи на вимикачі, з'єднання-розрізання проводів, монтаж вимикача).

Результати підрахунку часу, необхідного для виконання операцій, наведено в **табл. 5.2**.

Як третій крок – було розроблено два типи маніпуляторних систем для обслуговування повітряних розподільних мереж відповідно до визначеної концепції розробки: збільшення легкості операцій, досягнення упевненості в електробезпеці, зменшення розмірів і ваги автопідйомників. Керування двома типами маніпуляторних систем здійснювалося різними методами. Порівняльні результати наведено у **табл. 5.3**.

У разі застосування «звичайної» технології виконання робіт ПРН робітник повинен одягати гумові рукавички, гумове взуття та інший ізолювальний одяг.

Таблиця 5.2. Підрахунок часу виконання операцій

Види робіт	Тривалість робіт, хвилин	
	Маніпулятор (3 працівники)	Вручну (4 працівники)
Підготовка	10	15
Монтаж вимикача	28	45
Зачищення проводів	32	-
Під'єднання вимикача	18	25
Ізолювання елементів	22	-
Видалення шунтувальних проводів	8	-
Встановлення шунтувальних проводів	6	35
Закріплення	5	-
Прибирання	10	10
Всього	129	120
Працевтрати, люд.-хв.	387	480
Працевтрати, % від робіт вручну	81	100

Таблиця 5.3. Результати порівняння методів виконання робіт

Види робіт	Тривалість робіт, хвилин		
	Традиційний (вручну)	Керування із стріли	Керування із землі
Роботи на вимикачі	160	129	170
Роботи на трансформаторі	84	51	64
Видалення шунтувальних проводів	51	32	45
З'єднання	81	77	120
Встановлення вимикача	127	107	130
Заміна вимикача	137	125	170

Нова розроблена система дозволяє робочому комфортно виконувати роботи на ПЛ, перебуваючи всередині kabіни з кондиційованим повітрям, не одягаючи захисного одягу. Крім того, робочий час було зменшено не тільки завдяки підвищенню оперативності маніпулятора, а також через поліпшення деяких елементів лінії для полегшення оперативності маніпуляторної системи і зміни технології робіт.

У результаті досліджень було зменшено кількість працівників, потрібних для проведення лінійних робіт із використанням маніпуляторної системи, керованої з корзини в стрілі, з чотирьох (двоє на опорі, один помічник на землі і один керівник) до трьох (оператор, помічник і керівник).

Порівняння часу робіт і кількості працівників свідчить, що сумарний час, потрібний для виконання робіт за допомогою маніпуляторної системи, керованої з корзини на стрілі, дорівнює або навіть менший за потрібний у разі виконання таких робіт вручну.

Хоча керована із землі система не забезпечує такої ж продуктивності, було продемонстровано, що і вона дозволяє повністю виконувати роботи.

Польові випробування в реальних установках розподільних мереж 6,6 кВ з маніпуляторною системою, керованою з кабіни на стрілі, показали, що при цьому не виникає проблем щодо ізоляції, а функціонування системи цілком задовільне.

Для обслуговування мереж напругою 6 – 22 кВ у Японії було впроваджено роботизовану систему обслуговування електрообладнання без перерви електропостачання, яка містить:

- дворукий робот-маніпулятор, змонтований на автопідйомнику з ізолюючою стрілою;
- змонтовану на автомобілі пересувну тимчасову опору, що має ізольовані траверси, гідропривід зміни висоти опори і конфігурації кріплення проводів;
- пересувну трансформаторну підстанцію з комплектом кабелів;
- пересувний мотор-генератор.

За допомогою такої системи можна виконувати роботи не тільки із заміни поодиноких опор ПЛ, але і шунтування певних ділянок мережі і навіть здійснювати тимчасове енергопостачання цілих районів.

В одній з найбільших японських енергопостачальних компаній у 90-х роках ХХ століття використовувалося 87 комплектів механізмів для обслуговування розподільних мереж під робочою напругою.

Комплект містить роботизований маніпулятор і тимчасову пересувну опору, і найчастіше доповнюється пересувною трансформаторною підстанцією чи генератором. Завдяки застосуванню такого методу обслуговування кількість відключень споживачів знизилася з 1,5 відключень споживача на рік у 80-роках до 0,01 відключення на рік у 90-х роках, а травматизм персоналу зменшився з 14 випадків на рік до 2 – 3, причому останніми роками не було зафіксовано випадків падіння людини з висоти, а кількість уражень електричним струмом зменшилась у 3 рази.

Для вирішення зазначених проблем фахівцями дослідницької лабораторії департаменту розподілу електричної енергії компанії «Киушу» (Фукуока, Японія) розроблено роботизовану маніпуляторну систему для робіт під напругою, змонтовану на автомобілі, в якому оператор маніпулює роботом з безпечно розташованого кошика на кінці стріли підйомника.

Компанія «Киушу» вже впровадила систему обслуговування без відключення устаткування в комбінації з іншими системами. Наприклад, такими, як шунтувальна система і мобільна генераторна система. Зокрема, 52 комплекти роботизованих систем (основа обслуговуючих систем без перерви енергопостачання), упровадження яких почалося в 1984 році, було задіяно для забезпечення обслуговування за формою «немає простоїв».

Майже всі ці роботизовані системи є гідравлічними маніпуляторами, які забезпечують компактність і високу потужність, а також мають переваги з погляду ізоляції, але керування ними й обслуговування створюють певні проблеми. Тому згодом було впроваджено електричні роботи, що мають такі функціональні переваги: висока швидкість, висока точність і стійкість.

Основні характеристики роботизованих систем, розроблених компанією «Киушу», є такі:

- Керування здійснюється одним оператором з кошика.
- Роботи працюють на опорі під високою напругою (6 кВ).

- Витрати часу зменшуються на 50 % порівняно з часом, необхідним у разі виконання робіт традиційним штанговим методом.
- Роботи можуть виконуватися за будь-якої погоди.
- Високі ізоляційні властивості. Напруга пробою у сухому стані – 20 кВ (10 хвилин), у зволоженому стані – 13,8 кВ (60 хвилин) зі струмом не більше 0,5 мА.
- Збільшено автоматичні функції – двобічний маніпулятор із джойстиком.
- Розроблено багатофункціональний робочий інструмент.
- Систему змонтовано на автомобілі з підйомником 8 – 13 м. Рівень шуму – не більше 70 дБ на відстані 2 м (на висоті 1 м). Рух підйомника – за трьома координатами.

Для запобігання електричного ураження оператор системи повинен бути електрично ізольований від зап'ястя робота та його двох «рук», що торкаються проводів високої напруги. Були побоювання, що «дворукість» робота може призвести до міжфазного короткого замикання. Для запобігання цього верхня частина «рук» робота виконана зі склопластику, а всі кінцівки нижньої частини «рук» покриті фторопластовою ізоляцією. Рухові зусилля зосереджені в «плечах» робота і передаються «рукам» за допомогою штанг усередині верхніх частин «рук».

Гідравлічні трубопроводи приводу повинні також бути розташовані усередині верхньої частини «рук», щоб не перекривати поле зору оператора. Для передачі високошвидкісних двобічних сигналів використовується волоконно-оптичний кабель.

Щодо використання роботизованих систем для таких робіт під напругою, як обрізка, з'єднання проводів, переміщення повітряних розподільних ліній, слід зазначити, що відповідні промислові роботи не можуть виконати ці роботи, тому що вони не забезпечують автоматичне функціонування і не пристосовані до таких різних об'єктів. Це з часом привело до створення спеціалізованих роботів.

Розроблення малогабаритних легких електроприводів разом зі зменшенням редукторів, гальм і високомоментних двигунів перемінного струму, а також полегшених твердих «рук» уможливили створення семиосного «дворукого» робота з електричним приводом і збільшеним відношенням корисного вантажу до ваги до 1:5. Кращі експлуатаційні характеристики робота, такі як висока швидкість, точність і плавність руху, реалізовані з використанням електропривода.

Значне поліпшення працездатності в розподільних мережах під напругою досягнуто завдяки розробленню багатофункціональних інструментів та таким особливостям робота, як програмне керування. До нього входять: мова робіт, функції автоматичного керування, система робочих координат, координоване керування двома руками, а також функція переривання, що дозволяє програмування робити на відключеній лінії, двобічний зворотний зв'язок по зусиллю.

Характеристики електричної ізоляції за жорстких вимог до міцності проти пробою ізоляції в умовах зволоження (13,8 кВ, 60 хвилин зі струмом менше 0,5 мА) було витримано зі значним запасом, що вказує на можливість застосування на лініях більш високої напруги (20 кВ).

Ця роботизована система відповідає вимогам щодо робіт за будь-якої погоди на відкритому повітрі. Тому вона може бути застосована в інших областях, а не тільки під час роботи під напругою. Це, наприклад, будівельна галузь або архітектурні чи оздоблювальні роботи. Крім того вона може застосовуватися в автоматизованих виробництвах, де малий розмір і вага дуже ефективні.

Подальше удосконалення цих робіт відбувалося шляхом підвищення функцій дистанційної чутливості і пристосування системи до робіт під напругою з дистанційним керуванням однією людиною з кабіни автомобіля.

5.1. Розроблення роботизованих комплексів для обслуговування електричних мереж під робочою напругою у Франції

У Франції було проведено порівняльні дослідження щодо можливості застосування дистанційно керованих і роботизованих систем ПРН. Насамперед, на ЕОМ було створено модель мережі середньої напруги 20 кВ із траверсами, до яких підвішені ізолятори. Була обрана специфічна операція: заміна одинокої ізолювальної підвіски на здвоєну з установленням шунта, що забезпечує безперервність електропостачання. Потім було створено три моделі систем телекерування. Кожна система розміщувалася на автомобілі з підйомником, що піднімав платформу з розташованою на ній кабіною.

Перша система телекерування, загальний вигляд якої наведено на **рис. 5.10**, містила:

- стрілу компасного типу (два колінчастих елементи);
- дві «короткі» руки маніпулятора з шістьма ступенями свободи і затискач із кистю типу «стрижень-стрижень-обертання».

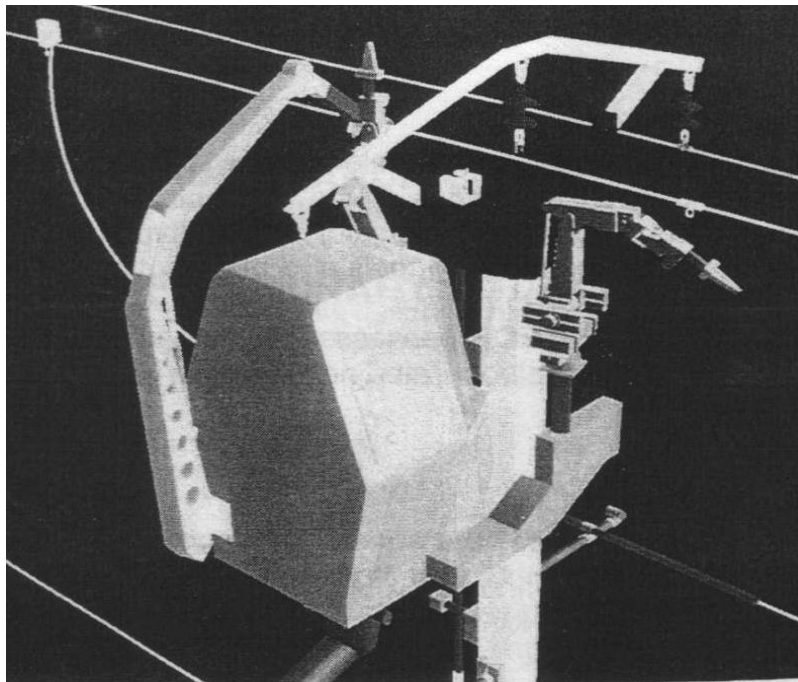


Рис. 5.10. Система телекерування (перший варіант)

В основу кожної руки було додано один ступінь свободи (0,8 м уперед-назад), відстань між двома руками становить 1,2 м, а основа кожної руки піднята над рівнем підлоги кабіни на 0,3 м. Крім того, передбачена силова стріла для маніпуляцій із навантаженнями, що перевищували вантажопідйомність рук. Вона була виконана з 3-х колінчастих елементів, закріплена позаду кабіни, а розташовувалася над нею.

Друга система (рис. 5.11) містила:

- телескопічний підйомник;
- дві «довгі» руки маніпулятора (1,9 м) із шістьма ступенями свободи переміщень, а також затискач із кістю типу «обертання-стрижень-обертання».

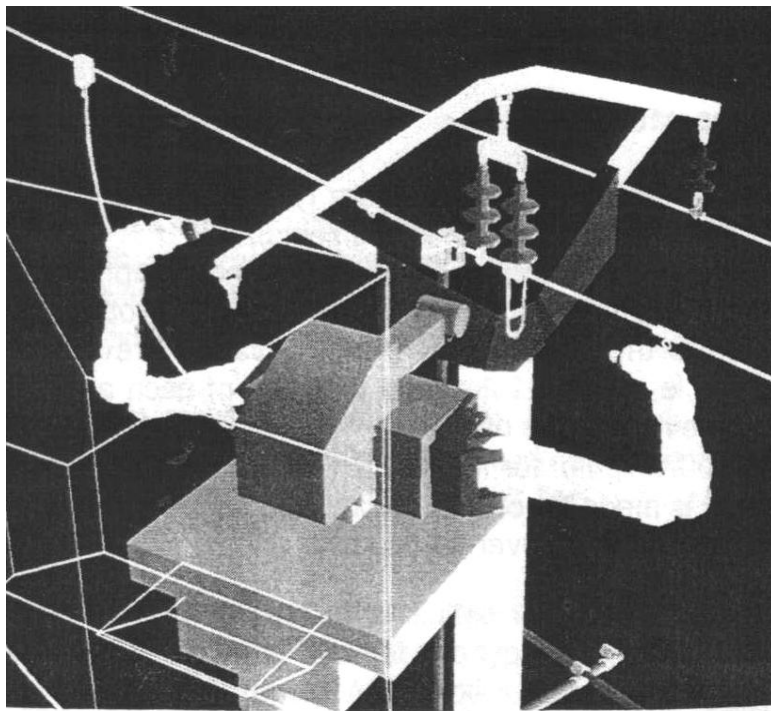


Рис. 5.11. Система телекерування (другий варіант)

Руки маніпулятора розташовувалися за системою «краб», тобто їх перша вісь була горизонтальною, а відстань між руками становила 0,75 м. Силону телескопічну стрілу з двома ступенями свободи переміщень (підйом і переміщення) було розташовано перед кабіною між двома маніпуляторами.

Третя система (рис. 5.12) містила:

- телескопічний підйомник;
- одну довгу руку маніпулятора (приблизно 2 м між основою і затискачем) із шістьма ступенями свободи, а також затискач із кистю типу «стрижень-стрижень-обертання»;
- руку типу «кран» із вертикальною віссю обертання;
- силову телескопічну стрілу з трьома ступенями свободи (азимут, підйом і переміщення), розташовану перед кабіною (приблизно 0,8 м ліворуч від руки маніпулятора).

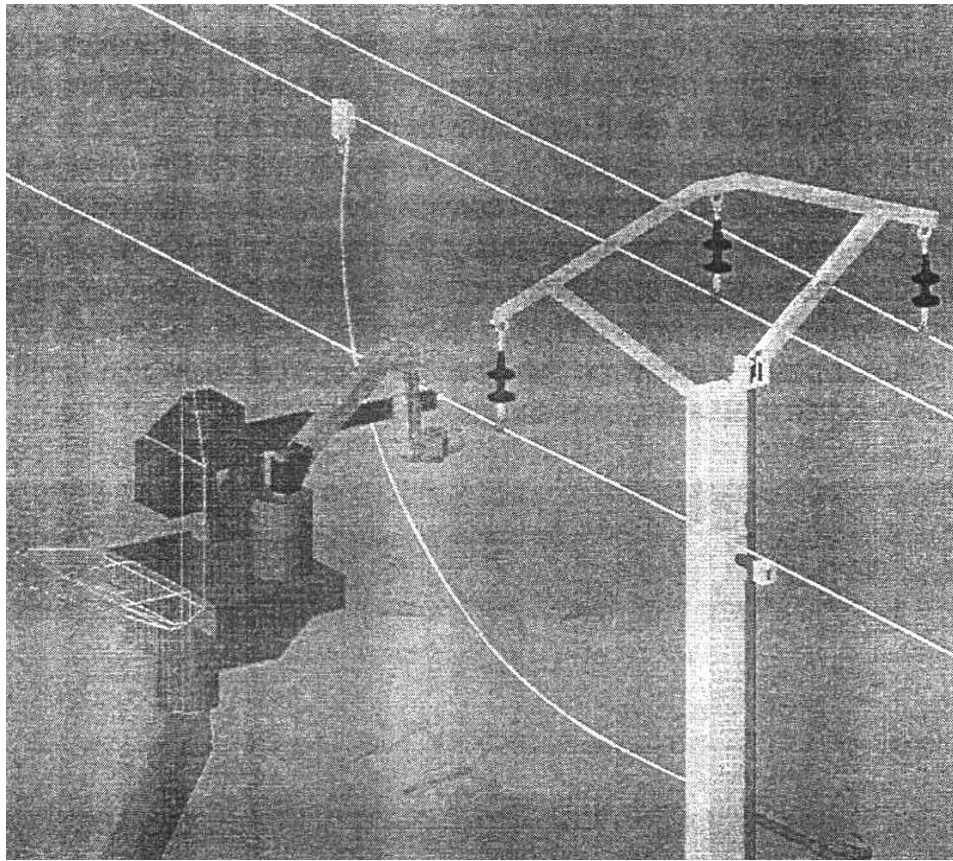


Рис. 5.12. Система телекерування (третій варіант)

Моделювання полягало у виконанні всіх обраних операцій послідовно всіма трьома системами. Сценарій роботи відповідав реальній роботі і поділений таким чином:

- шунтування середньої фази попереду і позаду місця робіт;
- опускання зовнішньої фази для полегшення наближення системи;
- розчіплювання і переміщення проводу середньої фази й установаження здвоєної гірлянди;
- встановлення затискача на проводі;
- розрізання проводу і закріплення здвоєної гірлянди;
- встановлення моста з іншого боку здвоєної гірлянди;
- відновлення зовнішньої фази;
- зняття шунта.

Усі три системи успішно виконали всі операції. Основні результати порівняння систем такі:

- телескопічний підйомник кращий за компасний, оскільки забезпечував доставку на 40 % швидше, ніж другий;
- рука маніпулятора має бути максимально можливої довжини, оскільки під час використання короткої руки важко добиратися до всіх місць, і тому часто доводилося маневрувати підйомником, що ускладнювало точне позиціонування платформи;
- «крабове» розташування рук забезпечує оператору кращий огляд. Проте руки не мають працювати в цьому положенні, оскільки у разі максимального навантаження їх робота істотно ускладнюється;
- із огляду на умови керування силовою стрілою бажано розміщувати перед кабіною, а не поверх кабіни, хоча таке розташування більш «незграбне» і може заважати рухам маніпулятора;
- кінематика рук дуже впливає на можливість досягнення будь-якої робочої зони. Руки повинні мати дві довгі перші ланки для того, щоб легко досягати необхідного положення. З іншого боку, оптимальна орієнтація забезпечується в разі використання короткого зап'ястя з пересічними осями і великим кутом повороту;

- перші дві моделі показали, що в системі з двома руками маніпулятора одна з рук мало використовується, оскільки її головне завдання полягало в підтримці устаткування (менше 10 % тривалості робіт).

Моделювання показало, що можна працювати і з системою, в якій силова стріла використовується як для маніпулювання важкими предметами (наприклад, переміщення проводу), так і для допомоги руки маніпулятора. Переваги такої системи – краще завантаження стріли, більш низька вартість платформи телеоператора, краща керованість. З іншого боку, система має недолік через асиметричність, адже вона спроектована для робітника «правши», а має бути пристосована також і до робітника «лівши».

Моделювання надало корисну інформацію про основну схему роботизованої системи. Разом із тим багато результатів вимагало повномасштабних випробувань, мета яких – порівняти, як різні установки, виконані за схемою «господар-раб», виконують поставлене завдання, а також вивчити переваги деяких функцій для цих робіт. Випробувальна установка складалася з моделі опори з підвісними ізолювальними підвісками. Робот довжиною близько 2 м із максимальним навантаженням близько 100 кг було використано як руку маніпулятора. Блок керування руки було перероблено, що дозволило випробувати різні функції телеоператора.

Три різні керуючі рукоятки могли бути використані для керування рукою «раба»:

- мала колінчаста рука, схожа з рукою «раба», без мотора;
- антропоморфічна колінчаста рука з моторами; яка не відповідає рукам «раба»;
- статична, типу джойстик з шістьма ступенями свободи.

Випробувалися різні системи керування, що містили виконання таких заданих операцій:

- установлення і зняття покриття проводу;

- переміщення підвісної ізолювальної підвіски;
- вкручування і викручування болта затискача;
- установа проводу в спеціальне пристосування;
- робота на твердій арматурі.

Кожне завдання було успішно виконано трьома керуючими рукоятками, при цьому робітник мав змогу використовувати різні функції керування (блокування, регулювання керування «господар – раб» щодо позиції, зміна робочого завдання тощо) для полегшення маніпуляцій. Час маніпуляцій записувався і порівнювався, фіксувалися і враження робітника.

Було отримано такі результати:

- здебільшого телеоперації за об'єднаною схемою були задовільні, вони забезпечувалися тим, що рука «господаря» була подібною до руки «раба», чим полегшувалося керування;
- керування в картезіанових координатах було найскладнішим, вимагало складних обчислень і могло бути використано для робіт у точно визначеній, незмінній обстановці, тому від цього типу керування згодом відмовилися;
- зворотний зв'язок за зусиллям дозволяє робітнику відчувати, що робить «раб» за допомогою руки «господаря»;
- якщо буде забезпечено мінімум допомоги робітнику, немає необхідності в зворотному зв'язку за зусиллям. Для робітника доцільніше створити інший зворотний зв'язок – візуальний;
- колінчаста рукоятка краще підходить для керування повномасштабними рухами в просторі без перешкод. Її кутові переміщення мають бути великими, проте без частих коригувань, які швидко стомлюють. Робота з цим типом рукоятки забезпечує точні рухи;
- джойстиковий тип рукоятки, який керує швидкістю «раба», добре підходить для точного наближення в тісному просторі, тобто робітник краще

керує шляхом жестів, а виграш значно збільшується, якщо потрібно виконувати багато рухів;

- коли робітнику потрібно виконати точну роботу, яка триває багато часу, антропоморфічна рука призводить до втоми через її вагу і громіздкість;
- маленька колінчаста рука, утримувана як олівець, легше і зручніше в застосуванні і дозволяє залишатися ліктю робітника на столі під час маніпулювань.

5.5. Впровадження роботизованих систем в Україні

В Україні розроблено і виготовлено вітчизняний маніпулятор для роботи в електричних мережах високої і надвисокої напруги. Основне призначення маніпулятора – заміна поодиноких ізоляторів у натяжних і підтримувальних ізолювальних підвісках. Маніпулятор має бути змонтовано на ізолювальній вставці автогідропідйомника з «ломаною» стрілою і з ізолювальною вставкою. Зв'язок між маніпулятором і кабіною керування здійснювався через волоконно-оптичні кабелі.

Аналіз конструкцій маніпуляторів для роботи ПРН вказує, що найрозповсюдженішою конструкцією є маніпулятори з двома багатоланковими руками, кожна з яких має не менш шести ступенів свободи, і які працюють у сферичній системі координат. Аналіз точності позиціонування колиски підйомника й огляд існуючих конструкцій показав, що маніпулятор має відповідати таким вимогам:

- вантажопідйомність – не менше 30 кг;
- кількість ступенів рухливості першої руки – 6;
- кількість ступенів рухливості другої руки – 7;
- привід основних рухів – електрогідравлічний;
- система керування – контурна, керована ЕОМ;
- спосіб програмування – навчання за першим циклом або дистанційне;

- похибка позиціонування – не більше 2 мм;
- максимальні кутові швидкості – 180 рад/с;
- найбільший виліт руки – 1550 мм;
- маса маніпулятора – не більше 150 кг.

Аналіз існуючих механізмів для маніпуляторів зі сферичною системою координат показав, що найприйнятнішим є електродвигуни з хвильовими редукторами (наприклад, швейцарської фірми Renold) або лопатного типу (наприклад, російських серій ДПГ чи СП). Зважаючи на те, що для даного маніпулятора через вагові обмеження доцільніше застосування гідродвигунів, був виконаний аналіз конструкцій гідродвигунів, який показав, що застосування швейцарських гвинтових гідродвигунів недоцільно через їх високу вартість, а російських лопатних гідродвигунів серії ДПГ – через невисокі експлуатаційні характеристики і велику вагу.

Попередні випробування експериментального зразка вітчизняного гідродвигуна показали достатність результатів, а також те, що дана конструкція гідродвигуна цілком може бути використана у механізмі маніпулятора.

Сам маніпулятор являв собою автоматизовану вайму, закріплену на стрілі підйомника з максимальною висотою підйому 22 м, з секційною чи телескопічною стрілою і з ізолювальною вставкою для забезпечення безпечного проведення робіт під напругою на ПЛ 220 – 330 кВ.

Привід механізмів самого маніпулятора, розташованого на стрілі підйомника, – електричний. Сумарна споживана потужність – не більше 1 кВт. Максимальна одночасно включена потужність – не більше 400 Вт. Джерело робочого живлення – генератор постійного струму, а резервне джерело – акумулятор 12 В, 35 Ампер-годин. Система стеження на першій стадії розробки була відсутня. Спостереження за правильністю підведення робочого органа здійснювалося оператором з кабіни керування за допомогою телекамери.

Автоматичне керування механізмами вайми забезпечувалося контролером, установленим на маніпуляторі, що працював відповідно до команд, що надходили через оптоволоконний кабель від бортової мікро-ЕОМ із кабіни оператора.

Створення автоматизованого пристрою для заміни поодинокого ізолятора в гірлянді ПЛ передбачалося в три етапи:

- створення автоматизованої вайми, тобто робочого органа маніпулятора, що дозволяє в лабораторних умовах робити заміну ізолятора в підвісній гірлянді.
- Розроблення і виготовлення системи керування і живлення для цього робочого органа.
- зборка усіх вузлів пристрою на автомобілі-підйомнику зі стрілою і ізолювальною вставкою на робочу напругу 330 кВ з наступним випробуванням на спеціальному полігоні.

Принцип дії пристрою для заміни ізолятора – аналогічний вже існуючим роботам-маніпуляторам для робіт ПРН. Його відмінність – оригінальна конструкція робочого органа, тобто автоматизованої вайми, що дозволяє робити тільки одну операцію – заміну поодинокого ізолятора в підвісній гірлянді ПЛ-330 кВ. Для цього на ваймі було встановлено кілька електродвигунів, які отримували живлення від генератора змінного струму, що є робочим живленням. Цей генератор із самозбудженням приводиться в обертання турбіною з гідроприводом, потік трансформаторної олії циркулює замкненим контуром з платформи автомобіля.

Резервне джерело живлення – акумуляторна батарея використовувалася для зрушення генератора в момент пуску і для живлення контролера та засобів автоматики під час пусків або зупинок генератора, а також і у разі його відмови.

Електропривід автоматизованої вайми керується мікроконтролером, встановленим поруч з ним і отримуючим живлення від стабілізованого джерела. У свою чергу, мікроконтролер керується бортовою мікро-ЕОМ, встановленою в кабіні оператора на платформі автомобіля.

Крім цього, передавання керуючих сигналів від бортової мікро-ЕОМ здійснюється через оптоволоконний гнучкий кабель із зовнішньої сторони ізолювальної вставки стріли вишки-підйомника. Було застосовано спеціальні інтерфейси, що забезпечували надійну роботу електронних пристроїв в умовах сильних електромагнітних полів.

Конструкцію автоматизованої вайми наведено на **рис. 5.13**, на якому позначено: 1 – гірлянда ізоляторів; 2 – пошкоджений ізолятор; 3 і 4 – верхня і нижча плити; 5 і 6 – ліва та права руки; 7 – стяжні гвинти; 8 – шарніри вайми; 9 – електромеханічний привід; 10 – важелі захоплення; 11 – «паразитні» ролики; 12 – ведучий ролик; 13 – гідроциліндри.

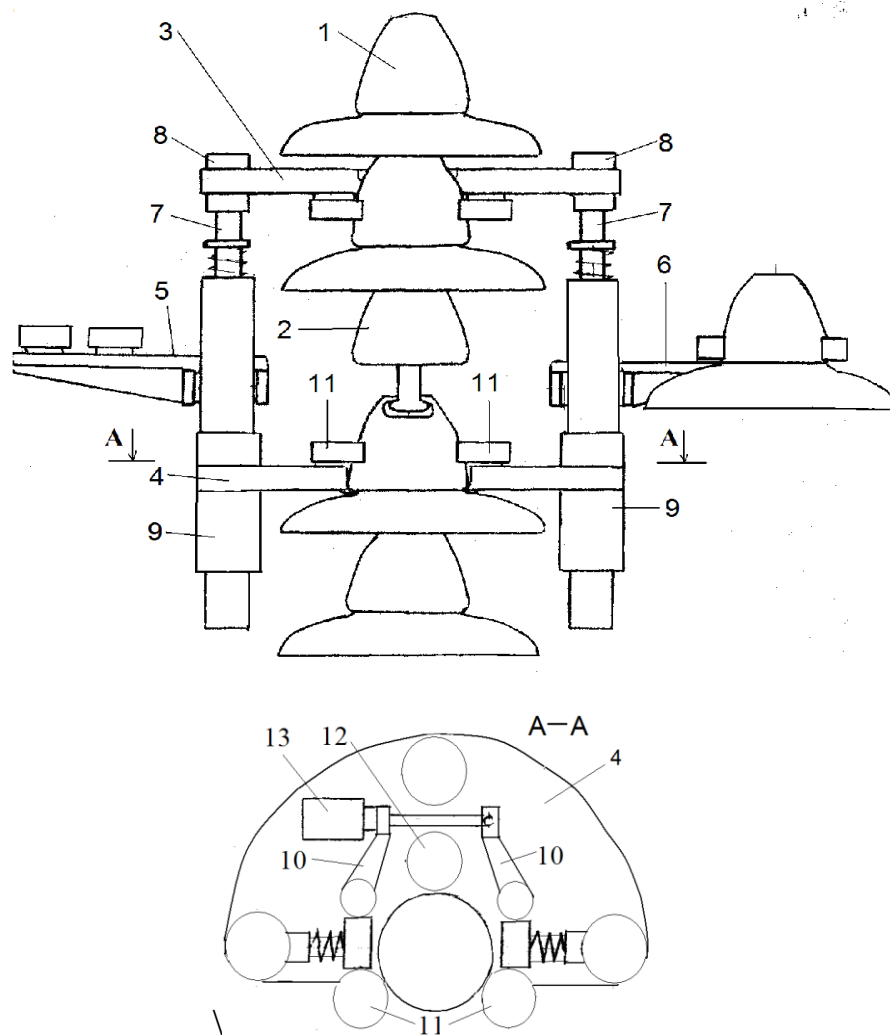


Рис. 5.13. Конструкція автоматизованої вайми

Основою конструкції вайми є дві базові плити – верхня 3 і нижня 4, зв’язані між собою трьома стяжними гвинтами. У середній частині кожної з плит є місце й елементи для проходу і встановлення ізоляторів. Для надійного закріплення вайми на гірлянді на кожній із плит є спеціальні підпружинені важелі 10 з роликами 11, за допомогою яких ізолятор гірлянди притискається до третього нерухливого в радіальному напрямку ролику 12, при цьому утворюється замкнений силовий ланцюг, що залишає ізолятору один ступінь свободи – обертання.

Для обертання вайми відносно ізолятора (чи навпаки) було передбачено електромеханічні приводи, зв’язані з третім приводним роликом. Для кращого фрикційного зчеплення роликів з поверхнею ізоляторів паразитні ролики покриті гумою, а приводний ролик має спеціальну насічку. Для одержання інформації про кутове положення вайми відносно гірлянди на одному з «паразитних» роликів передбачено фотоелектричний імпульсний датчик кутового переміщення. Для запобігання випадкового розтискання захоплювальних важелів у процесі роботи вайми у їх конструкції передбачено фіксатори, що виключають довільне розтискання важелів. Фіксатори постачені електромагнітним приводом для їх виведення. Для розтискання важелів передбачено гідроциліндри 13.

Кожний із трьох гвинтів на нижній базовій плиті зв’язаний зі своїм індивідуальним електромеханічним приводом, необхідним для їх обертання і переміщення верхньої плити відносно нижньої. З верхньою плитою гвинти взаємодіють за допомогою гайок, виконаних у вигляді сферичних шарнірів. Шарніри надають можливість нахилитися верхній плиті на певний кут без виникнення ефекту заклинювання гвинтових пар.

Крім важелів захоплювання і приводу третього ролика на цій плиті (на сферичних шарнірах) встановлено датчики положення плити щодо гвинтів. Як датчики використано прецизійні потенціометри типу ПТП-1.

Лінійне переміщення гвинтів за допомогою зубчастого колеса, встановленого на вісі датчика і взаємодіючого з різьбленням гвинта, перетворюється в кутове переміщення вісі датчика. За допомогою цих датчиків система керування забезпечує рівнобіжне переміщення верхньої плити щодо нижньої у разі стискання вайми чи нахилу плити на заданий кут.

Кожний із трьох гвинтів, у свою чергу, є базовою віссю для трьох інших механізмів. Так, співвісно з лівим гвинтом встановлена ліва рука 5 для захоплення пошкодженого ізолятора. Механізм захоплювання ізолятора улаштовано аналогічно описаним вище і встановлено на базових плитах. Ліва рука має можливість невеликого нахилу захопленого ізолятора відносно вісі гірлянди за допомогою гідроциліндра, зв'язаного штоком з рукою, а циліндром з поворотною гільзою, при цьому гільза і ліва рука зв'язані між собою через шарнір. Поворотна гільза й усе, що з нею пов'язане і на ній встановлено, має можливість невеликого переміщення уздовж своєї вісі під час її повороту. Для здійснення цього переміщення передбачено спеціально профільований кулачок, взаємодіючий з нерухомим упором. За допомогою пружини гільза постійно підгортається через поверхню кулачка до упора. Поворот гільзи, а значить і лівої руки, здійснюється за допомогою приводу, обертаючого гвинт. Приєднання до приводу виконується за допомогою електромагнітної муфти.

На правій вісі гвинта встановлена права рука 6 для утримання нового ізолятора і його встановлення на місце пошкодженого. Пристрій приводу правої руки майже повністю ідентичний приводу лівої руки. Відмінність полягає в конструкції самої руки – у її складі відсутній механізм обертання ізолятора з роликками.

На осі третього гвинта встановлено вузол, що містить трипозиційний механізм для пошуку, витягання й установки нових замків ізоляторів. Переключення на кожну з трьох позицій (поворот на 120°) здійснюється за допомогою тих же засобів, що і самих рук.

Пошук фіксаторів (точніше, гнізд) виконується за допомогою щупів, виконаних у вигляді підпружиненого штока з роликом на кінці. Шток, у свою чергу зв'язаний з аналоговим датчиком положення реостатного типу. Під час обертання ізолятора ролик обкатується поверхнею ізолятора. За вимальованим таким чином профілем або за максимальним висуванням штока щупа визначається місце положення гнізда фіксатора. Механізм захоплювання фіксатора і його витаскування містить два важелі і гідроциліндр для їхнього висування. Для підвищення надійності передбачено третій механізм для установа новог о фіксатора. У разі неможливості установа старог о фіксатора (поломка, випадіння, ушкодження корозією), вузол повертається на третю позицію й у гніздо ставиться новий фіксатор.

Весь комплекс засобів керування умовно може бути поділений на систему керування верхнього рівня, розташовану в кабіні оператора знизу, і систему керування нижнього рівня, розташовану на самій ваймі. Між собою системи зв'язані двома оптоволоконними каналами.

Система керування нижнього рівня являє собою мікропроцесорний контролер, що дозволяє збирати дані з датчиків різного типу, перетворювати їх, обробляти разом з командами, що надходять від системи верхнього рівня, і видавати керувальні сигнали на виконавчі механізми. Необхідність установа контролера на самій ваймі викликане вимогою забезпечення високої стійкості системи керування до завад, стислістю інформації і можливістю її передавання по одному оптоволоконному каналу.

Крім електронної частини на ваймі розташовано блок гідравлічних розподільників, які перетворюють електричний сигнал керування в гідравлічний.

Особливе місце в системі керування ваймою було приділено блоку енергоживлення. Маніпулятор має бути електрично ізольованим від платформи, що, у свою чергу, виключає електропровідні засоби передавання енергії.

Система живлення містить гідростанцію, розташовану на платформі, ізоляційний трубопровід для подачі тиску на вайму, а також перетворювач гідравлічної енергії в електричну, розташований на кінці маніпулятора.

В основу конструкції вайми покладено принцип роботи напівавтоматичної заміни ушкоджених ізоляторів під напругою. Вайма потрібного типорозміру встановлюється на кінці маніпулятора, потім приєднуються гідравлічні й електричні силові і інформаційні лінії. За допомогою оператора, що знаходиться знизу, використовуючи електрогідравлічну систему керування маніпулятором і відеосистему, вайма підводиться до ушкодженої ділянки гірлянди ізоляторів і встановлюється на неї. Після цього маніпулятор механічно від'єднується від вайми і відходить на деяку відстань (наприклад 0,5 м). Усі електричні і гідравлічні комунікації залишаються при цьому зв'язаними. Подальша робота вайми може бути виконана цілком автоматично. Завдання оператора на цьому етапі полягає в спостереженні за процесом роботи вайми і в разі потреби – корекції її дій. Робота вайми, у свою чергу, містить такі основні етапи:

- закріплення і фіксація на гірлянді;
- пошук фіксаторів на двох ізоляторах і їх видалення;
- витягання ушкодженого ізолятора й установлення нового;
- установлення нових фіксаторів.

На цьому робота вайми закінчується. На останньому етапі вайма приймає вихідне положення. Відведений маніпулятор підводиться до стикувального місця вайми і з'єднується з нею. Далі вайма за командою оператора «відпускає» гірлянду, маніпулятор знімається й опускається униз, де з однієї руки вайми виймається пошкоджений ізолятор, а в іншу завантажується новий справний, після чого цикл може бути повторено.

Як приклад впровадження зазначених роботизованих систем в Україні, нижче наведено докладний опис технології застосування роботизованих систем для заміни тросу на ПЛ 330 – 750 кВ.

5.6. Роботизовані системи для заміни троса на ПЛ 330–750 кВ під робочою напругою

Блискавкозахисні троси ПЛ часто наражаються на небезпеку пошкодження через влучення в них блискавки. Як наслідок, знижується їх несуча спроможність, через що необхідно проводити заміну пошкодженого троса на справний. Таку роботу краще виконувати із застосуванням сучасних технологій без відключення від робочої напруги.

Потреба у застосування технологій робіт ПРН виникає не тільки через необхідність збереження передавання значної електричної потужності та мінімізації збитків через припинення електропостачання. Зазвичай ПЛ високої та надвисокої напруги мають значну протяжність і ймовірно перетинають важливі ділянки, де проходять, наприклад, залізниця або автострада. Можливо також перетин ПЛ з судноплавною річкою чи водосховищем. Перерва в роботі таких об'єктів призводить до розрегулювання транспортних потоків на час, що значно перевищує час відключення ПЛ для ремонту.

Щодо оптоволоконних кабелів, вбудованих у блискавкозахисний трос (ОКГТ, або за міжнародним позначенням – OPGW), то слід зазначити, що сьогодні накопичено великий досвід їх проектування, будівництва, експлуатації і монтажу (це, наприклад, технології, які рекомендовано Технічним Комітетом Міжнародної Електротехнічної Комісії і наведено в Технічному звіті TR 62263 «Робота під напругою – Посібник з монтажу і технічного обслуговування волоконно-оптичних кабелів на повітряних високовольтних лініях».

На підставі аналізу світового досвіду освоєння ОКГТ розроблено найперспективніший, на думку ТК 78 МЕК, спосіб заміни троса на ОКГТ. Таку технологію може бути застосовано і в разі необхідності заміни пошкодженого блискавкозахисного троса на новий.

Перевагами цієї технології є те, що не потрібно відключати ПЛ, на якій виконується заміна блискавкозахисного троса на ОКГТ, а також є можливість проведення робіт без відключення інших ПЛ і без припинення діяльності шосейних і залізничних доріг, що перетинають ПЛ, де виконуються ремонтні роботи.

Складність виконання роботи з заміни блискавкозахисного троса ПЛ (у разі його часткового пошкодження або для заміни на інший, наприклад, для переходу на використання троса із вбудованим оптоволоконним кабелем) полягає в тому, що необхідно виконувати протягування нового та старого тросів у просторі над проводами надвисокої напруги, до того ж з урахуванням наведеною на них напругою. При цьому не можна допускати провисання тросів під час послаблення їх тяжіння, за якого трос і провід неприпустимо зблизяться.

Зусилля для створення необхідного за таких умов тяжіння та, крім того, зусилля для створення умов переміщення троса потребують застосування спеціальних потужних механізмів, адже протяжка тросів потребує як значних зусиль, так і дії цих зусиль на об'єкті значної протяжності. Таким чином, протягування потрібно виконувати з використанням потужних тягових та тормозних механізмів, розташованих на землі у підніжжя опор. При цьому, зважаючи на проходження тросів над проводом, який перебуває під робочою напругою та під струмом навантаження, необхідно вжити низку заходів щодо безпечного обслуговування троса, що переміщується, на всіх його ділянках (як безпосередньо біля троса, так і біля обслуговуючих їх механізмів).

Слід зазначити, що ступінь пошкодженості троса суттєво впливає на можливість проведення пропонованої технології. Обмеження, головним чином, стосуються можливості перекичування монтажних роликів по тросу. Якщо є перепони вільному перекичуванню або ділянки недостатньо міцні, то потрібно попередньо виконати ремонтні роботи на тросі за допомогою спірального покриття.

Зважаючи на обмежені вагові можливості, під час проведення заміни троса найсприятливіші умови створюються у разі використання для проведення ремонтних робіт спеціальних роботизованих механізмів. Застосовуючи робот, або як його ще називають «радіокерований моторизований буксир», можна частково полегшити деякі вимоги. Робот легший за людину і на нього покладається більш легка робота – він має протягти лише монтажний трос з підвісними роликami.

Наведений далі приклад такої технології розглянуто для випадку, коли у декількох прогонах ПЛ необхідно демонтувати існуючий блискавкозахисний трос і на його місці змонтувати сучасний з вмонтованим оптоволоконним кабелем ОКГТ. Для виконання зазначених робіт використовується система механізмів і пристосувань (рис. 5.14), на якій позначено: 1 – еквіпотенційні площадки; 2 – тяговий механізм; 3 – гальмовий механізм; 4 – барабан тягового канату (для старого троса); 5 – барабан з новим тросом; 6 – барабани з фіксуючими канатами; 7 – радіокерований моторизований буксир; 8 – підвісні блоки; 9 – існуючий трос; 10 – фіксуєуючий канат; 11 – тяговий канат.

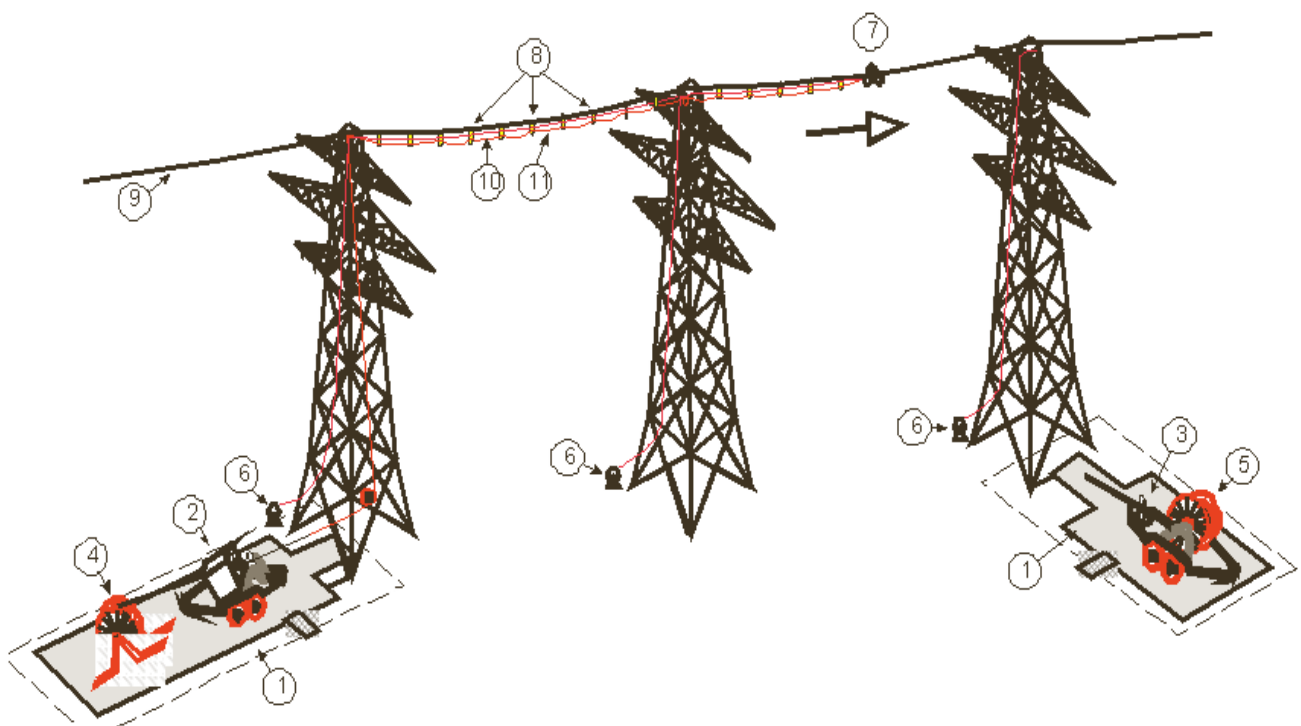


Рис. 5.14. Принципова схема виконання робіт із заміни блискавкозахисного троса із застосуванням моторизованого керованого буксира

Цією технологією передбачено виконання всіх робіт із тросами під тягінням, тому система містить тяговий і тормозний механізми, механізм намотування блискавкозахисного троса на барабан і змотування з барабана ОКГТ. Вона також містить радіокерований моторизований буксир, гальмо, подвійні підвісні ролики, розкотувальні ролики, тяговий і фіксуючий канати [15].

У варіанті схеми без застосування моторизованого керованого буксира (рис. 5.15, на якому, на відміну від рис. 5.14, позначено: 7 – канат для переміщення блоків по тросу), переміщення подвійних підвісних роликів здійснюється за допомогою ізолювального канату, який з поверхні ґрунту тягне пересувний механізм (наприклад, трактор).

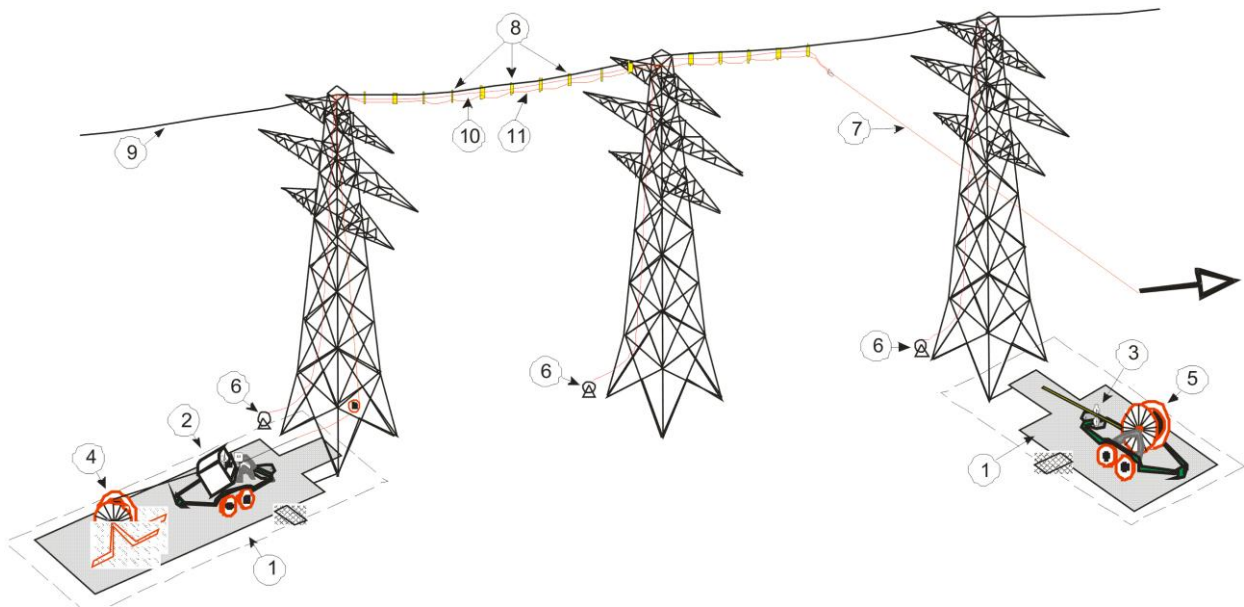


Рис. 5.15. Принципова схема виконання робіт із заміни блискавкозахисного тросу без застосування моторизованого керованого буксиру

У деяких випадках електромонтерам вдається виконати протягування вручну. У разі відсутності радіокерованого моторизованого буксира для проходження над автодорогами чи залізничними коліями буде потрібно на деякий час зупиняти рух цими дорогами, що суттєво знизить ефективність робіт. Крім того, збільшується час проведення робіт. Тому схема із застосуванням радіокерованого моторизованого буксира вважається більш ефективною.

Загальний вигляд радіокерованого буксира наведено на **рис. 5.16**, а гальмівного пристрою – на **рис. 5.17**.

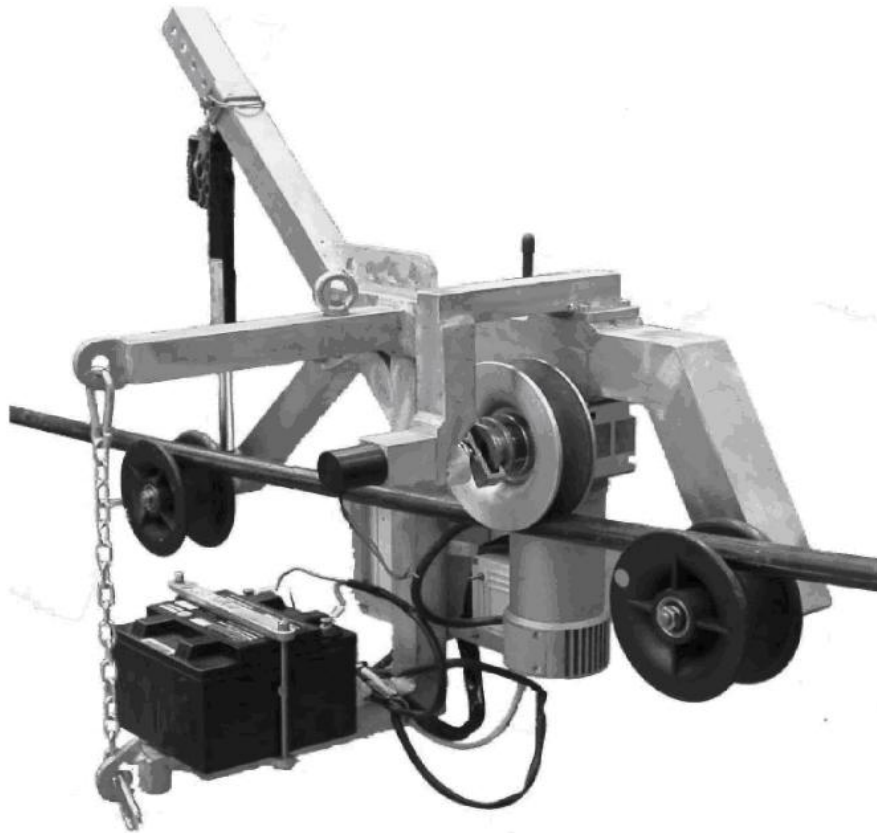


Рис. 5.16. Загальний вигляд радіокерованого буксира

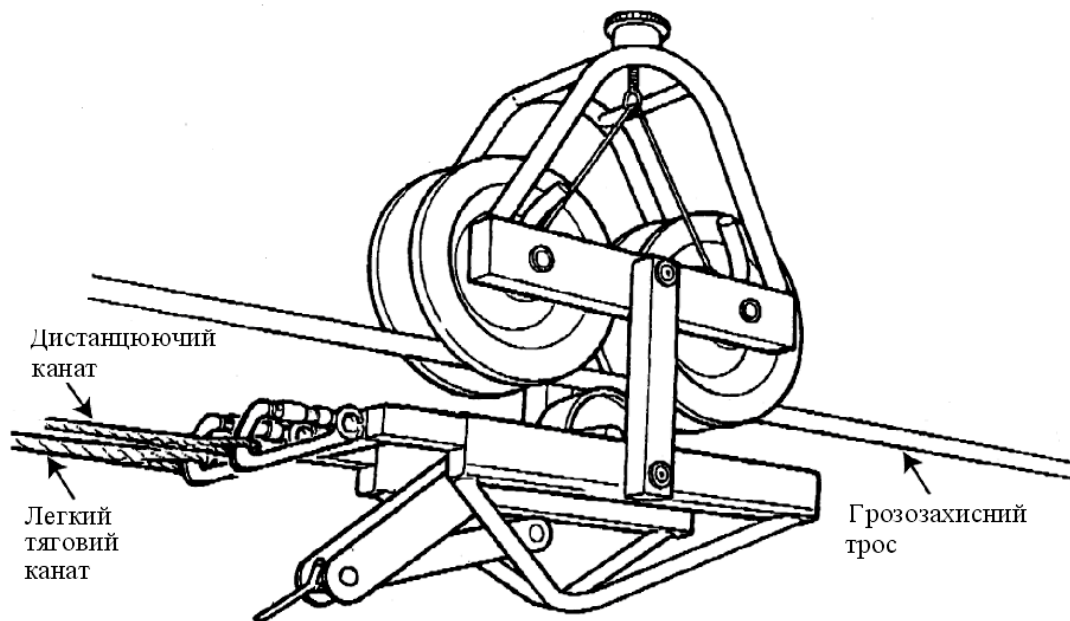


Рис. 5.17. Загальний вигляд гальмівного пристрою

Відповідно до зазначеної технології для виконання робіт організуються три робочі зони, кожна з яких обслуговується окремою ланкою працівників бригади:

- поблизу анкерної опори № 1, де встановлюється тяговий механізм ТГК-1 – тягова зона;
- поблизу анкерної опори № 2, де встановлюється гальмовий механізм ТГК-2 – гальмова зона;
- у прогоні ПЛ і на проміжних опорах – зона проміжних опор.

Робоча зона в прогоні ПЛ може охоплювати 3–4 проміжні опори, тому залежно від кількості проміжних опор може бути організовано декілька зон проміжних опор.

На *підготовчому етапі*, перш за все, необхідно провести оцінювання технічного стану об'єкта з метою визначення можливості проведення робіт і, зокрема, визначити необхідність попереднього ремонту окремих ланок блискавкозахисного троса, який планується замінити. У разі коли ушкодження троса більше ніж допустиме, необхідно провести ремонт ушкодженої ділянки.

У зонах поблизу анкерних опор (тягова та гальмова зони) підготовчі операції зводяться до підготування площадки для розміщення машин, механізмів, устаткування, оснащення, захисних засобів, пристосувань і матеріалів, застосовуваних під час проведення робіт із заміни блискавкозахисного троса. Крім того, виконують роботи з устаткування контуру заземлення і струмопровідного покриття еквіпотенційних площадок біля анкерних опор в тяговій та гальмовій зонах для розташування тягово-гальмових комплексів (ТГК). Щодо зон проміжних опор, то підготовчі роботи в них зводяться до розміщення обладнання для монтажу робочих площадок на тросостояках усіх опор, де будуть проводитись роботи за даною технологією.

До підготовчих робіт також належить монтаж на анкерних і проміжних опорах по три комплекти підвісних розкочувальних роликів: один – для блискавкозахисного троса, що замінюється, другий – для тягового каната, третій – для фіксуючого каната.

На металевих опорах спуски канатів улаштовуються усередині опори, а на залізобетонних опорах – збоку, як показано на рис. 5.18.

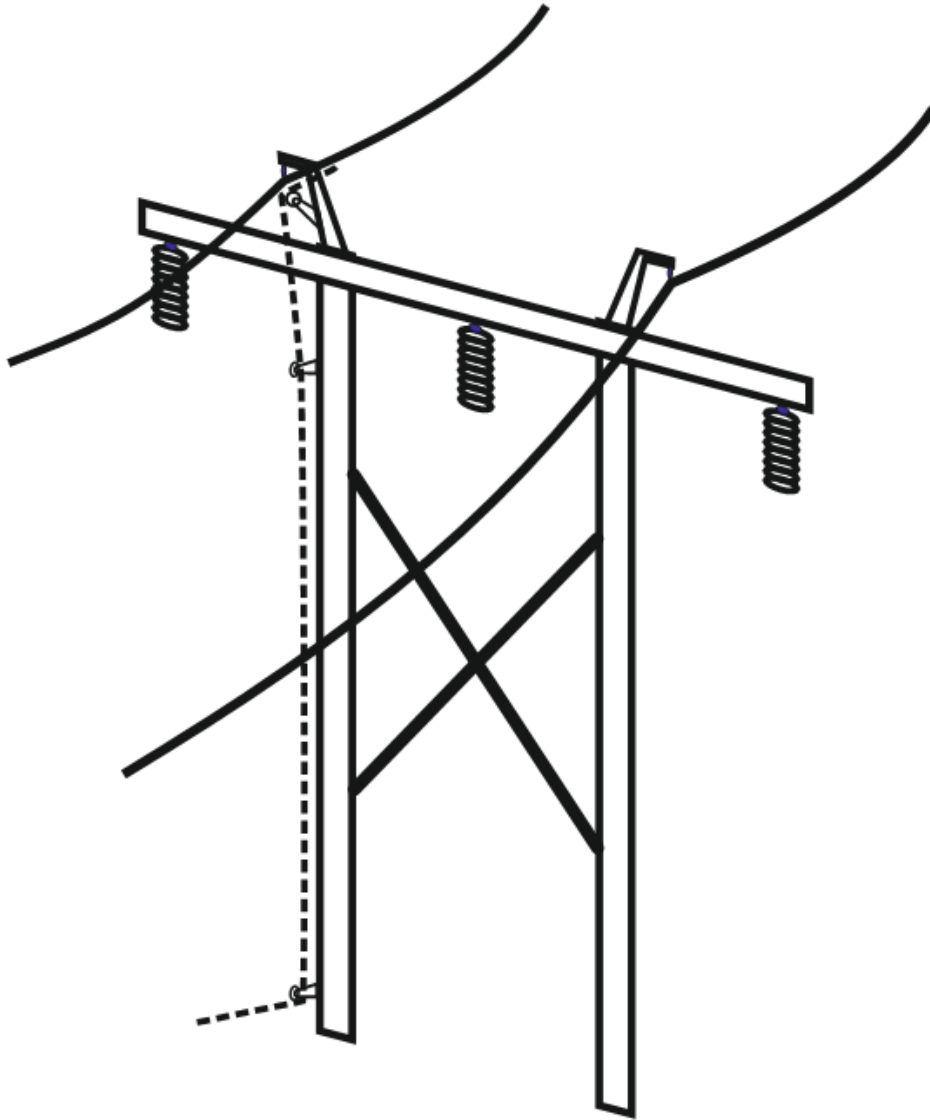


Рис. 5.18. Особливості роботи на залізобетонних опорах

На *основному етапі* здійснюються такі роботи:

- протягування тягового каната в межах анкерного прогону одночасно з розташуванням вздовж кожного з прогонів між суміжними опорами подвійних роликів, верхня частина яких підтримується існуючим тросом, а по нижній здійснюється розкочування;

- протягування нового троса чи ОКГТ за допомогою тягового каната по розкочувальним роликам з використанням тягових та гальмових механізмів;
- обмін місцями у подвійних роликах старого і нового тросів;
- витягування старого троса по розкочувальним роликам із використанням тягових та гальмових механізмів;
- демонтаж подвійних роликів з кожного з прогонів.

Розглянемо детальніше кожну операцію з наведеного вище переліку робіт.

Підвішування та розстановка підвісних подвійних роликів.

Ця процедура виконується бригадою, що перебуває на верхівці анкерної опори тягової зони з використанням моторизованого радіокерованого буксира і містить такі операції.

1. Установлення радіокерованого тягового буксира:

- виконують підйом буксира на опору і закріплюють його до опори страхувальним канатом;
- встановлюють буксир на трос, який буде замінюватися;
- карабінами зачіпляють фіксуючий та тяговий троси до буксира;
- вільні кінці тросів через відповідні розкочувальні ролики заводяться донизу, де утримуються відповідними гальмами.

2. Робота з буксиром (роботом):

- запускають буксир, який, взаємодіючи з гальмами, починає свій рух уздовж старого троса, причому як перший, так і наступні запуски буксира виконуються тільки за командою електромонтера-лінійника, що встановлює черговий підвісний блок;
- після того, як буксир перемістився на 10–15 м, на фіксуючому канаті в місці, де нанесена перша кольорова позначка, буксир зупиняють;
- на місці позначки встановлюють подвійний ролик і закріплюють його так, щоб у верхнім вікні подвійного підвісного ролика розмістився блискавкозахисний трос, а в нижньому – тяговий канат; при цьому фіксуючий

тросик закріплюється до середньої ланки; верхній ролик має можливість перекинутись старим тросом, а тяговий тросик – по нижнім роликом;

- після закріплення першого подвійного ролика запускають буксир, який буде перетягувати тяговий і фіксуєчний троси до наступної позначки; при цьому вільні кінці тросів через відповідні розкочувальні ролики заведені донизу, де утримуються відповідними гальмами;

- у міру подальшого просування буксира блискавкозахисним тросом на кожній наступній позначці фіксуєчного каната буксир має бути зупинено, закріплюється черговий подвійний підвісний ролик, і так доти, доки буде розставлено всі подвійні ролики через кожні 10-15 м уздовж всього прогону старого блискавкозахисного троса.

Принципови схеми послідовних операцій під час пересування буксира з тяговим і фіксуєчним канатами і подвійними підвісними роликами наведено на **рис. 5.19 – 5.28** [16].

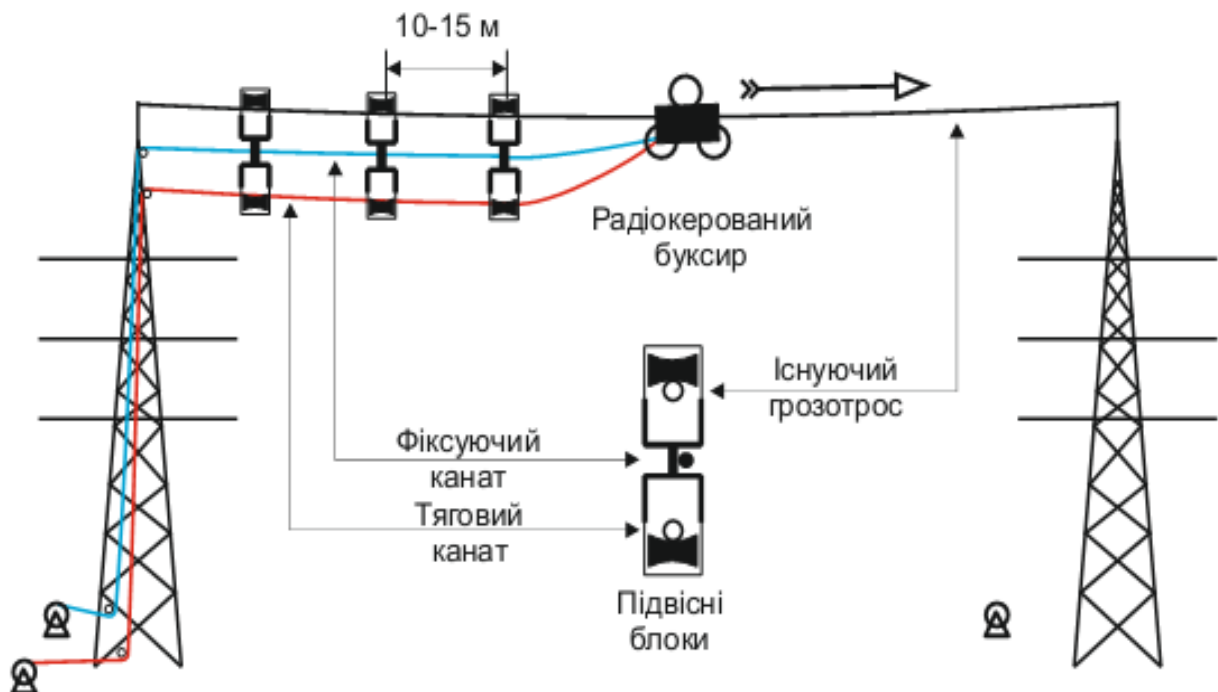


Рис. 5.19. Встановлення підвісних блоків на існуючому тросі з протягуванням через них фіксуєчного та тягового канатів за допомогою радіокерованого буксира

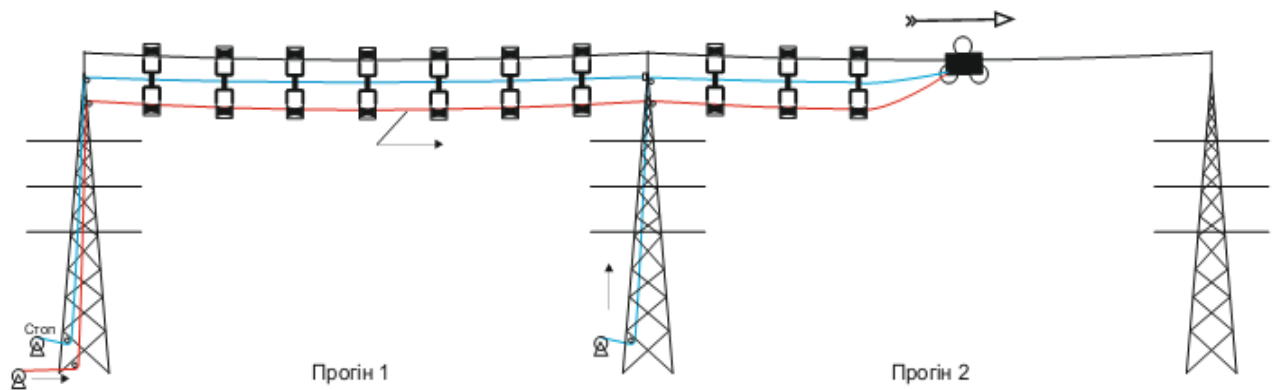


Рис. 5.20. Фіксуєючі канати закріплюють у кожному прогні окремо, тяговий канат – протягують від першої опори до кінця

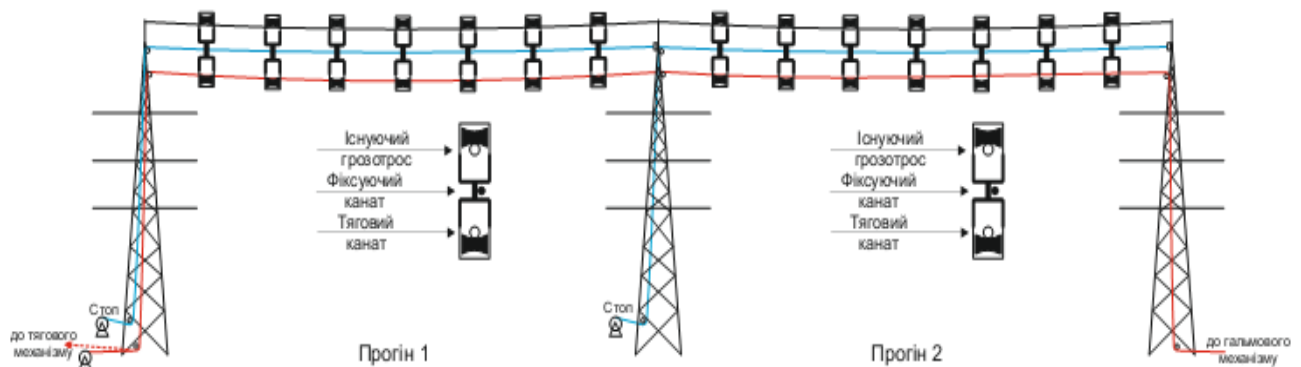


Рис. 5.21. Встановлення підвісних блоків завершено. Фіксуєючі канати закріплені кожний у своєму прогні. Тяговий канат протягнуто вздовж всіх прогонів, де буде заміна тросу. Кінець тягового канату біля першої опори, спущено вниз, від'єднано від свого барабану і приєднано до тягового механізму. Другий кінець тягового канату біля останньої опори спущено донизу і заведено до гальмівного механізму і з'єднано з новим тросом

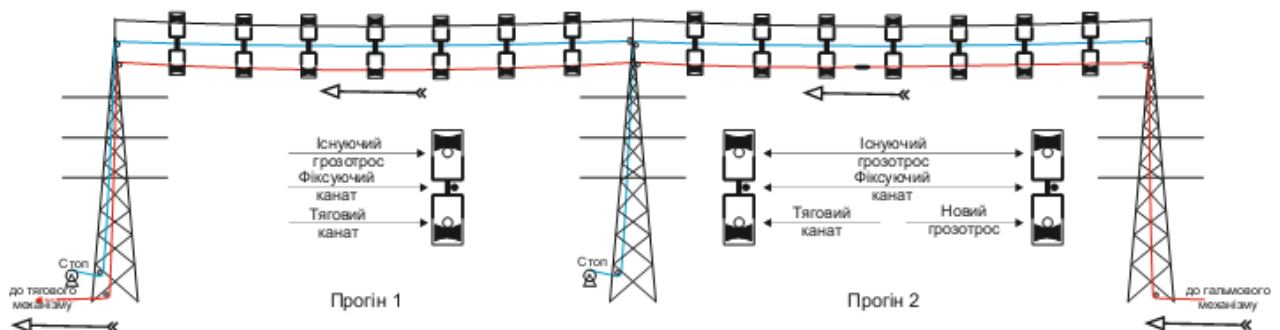


Рис. 5.22. Протягування нового тросу за допомогою тягового канату, тягового механізму біля першої опори та гальмівного механізму біля останньої опори

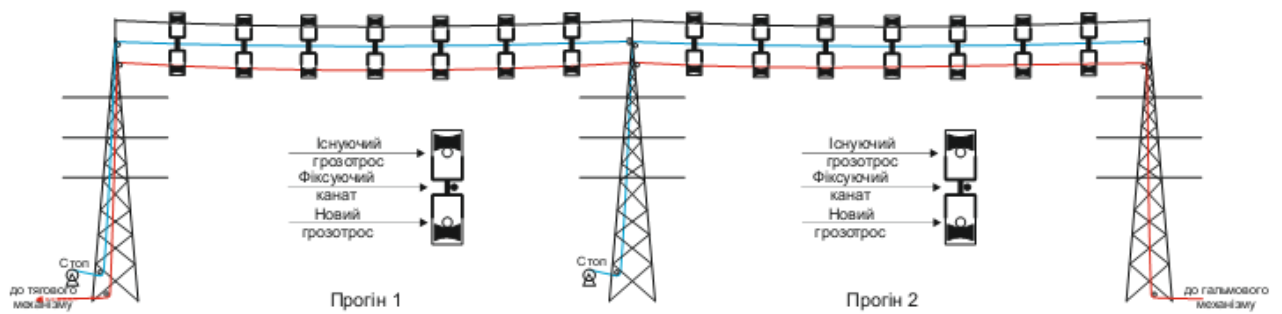


Рис. 5.23. Завершення протягування нового тросу.
Біля останньої опори до кінця нового тросу прикріплено додатковий тяговий канат, другий кінець якого опущено донизу і заправлено до гальмівного механізму

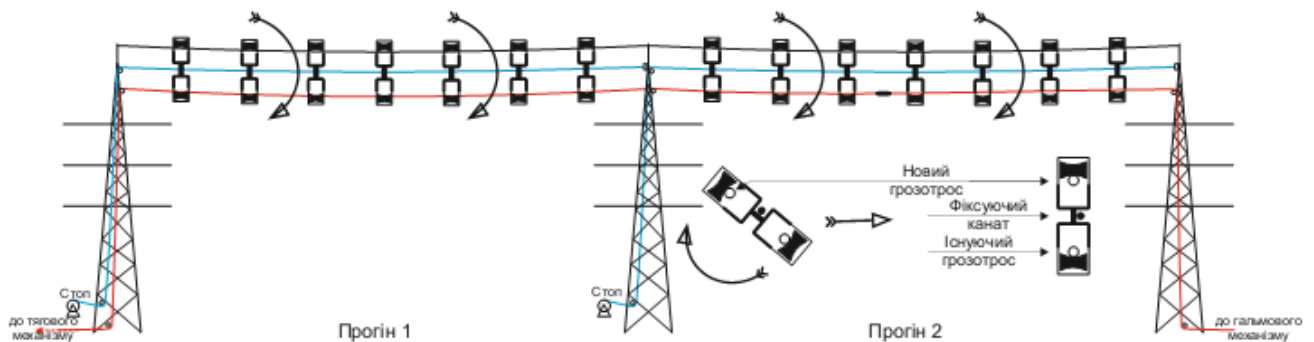


Рис. 5.24. Натягування нового тросу призводить до перевертання подвійних роликів, після чого новий трос розташується у верхньому віконці підвісних блоків, а існуючий – у нижньому віконці блоків

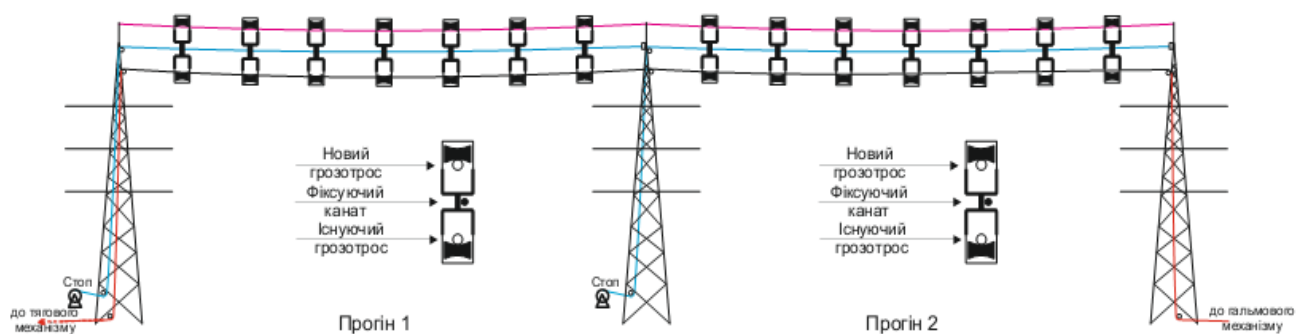


Рис. 5.25. Після перевертання новий і існуючий троси помінялись місцями.
Тепер підвісні блоки звисають з нового тросу, а старий трос лежить на нижчих роліках підвісного блоку

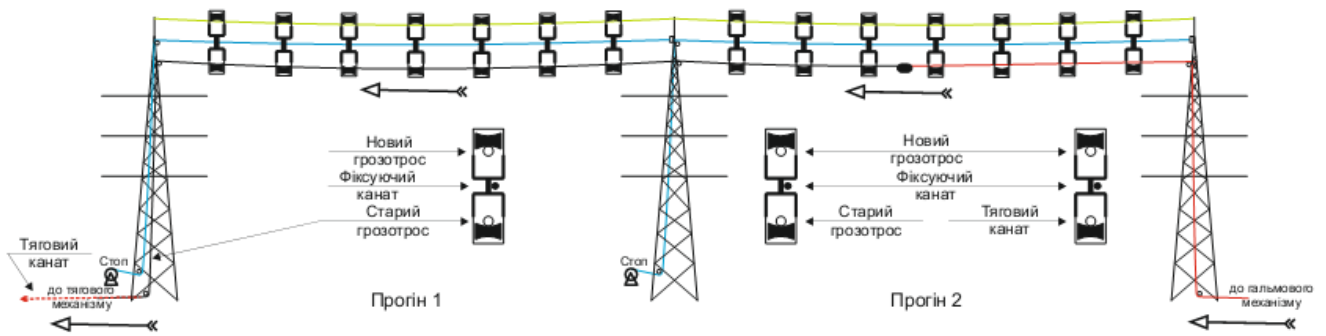


Рис. 5.26. Демонтаж старого блискавкозахисного тросу

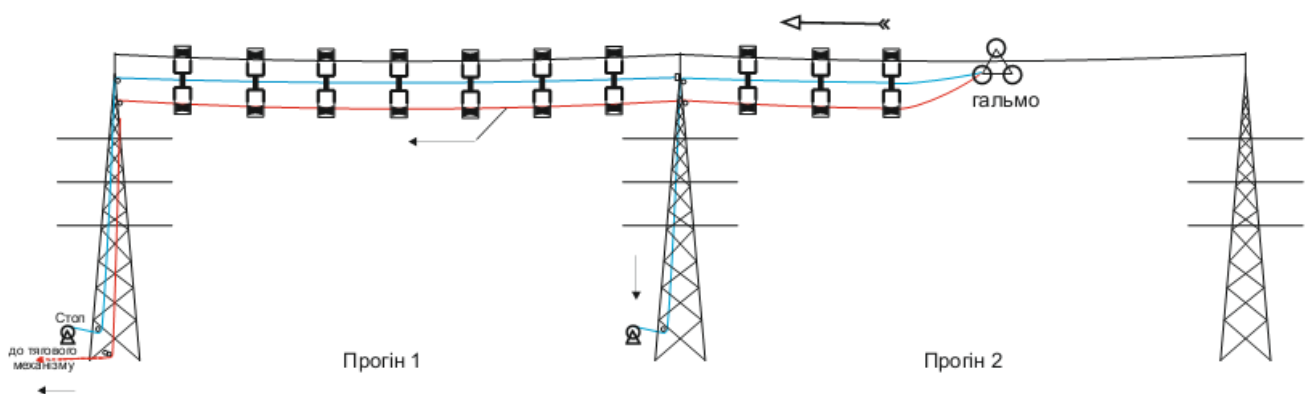


Рис. 5.27. Демонтаж підвісних блоків, розташованих на новому тросі у другому та подальших прогонах та витягування фіксуального та тягового канатів

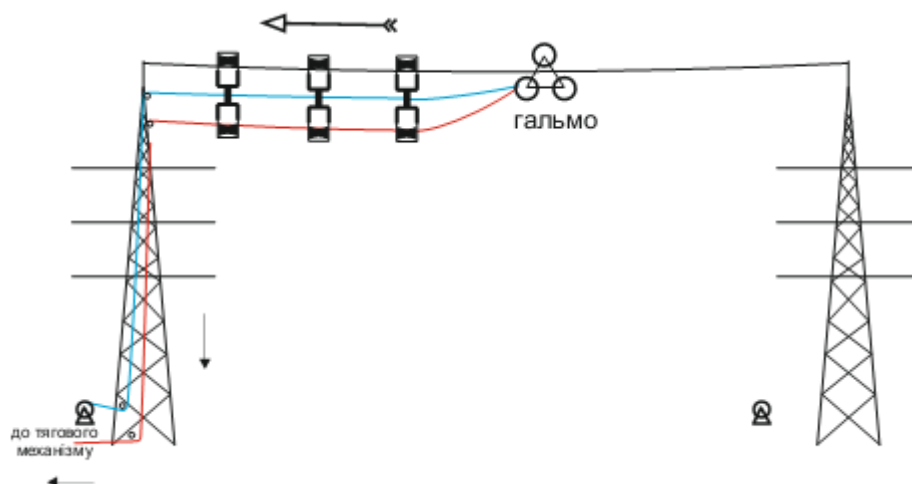


Рис. 5.28. Демонтаж підвісних блоків, розташованих на новому тросі у першому прогоні та витягування з них фіксуального та тягового канатів

3. Перехід та дії у наступних прогонах.

Після переміщення буксира до тросостояка проміжної опори, розташованої між тягово-гальмівними комплексами ТГК-1 і ТГК-2, фіксуючий канат натягується, а його кінець закріплюється за тросостояк. Потім буксир закріплюється стропом за тросостояк, переставляється за допомогою спеціального маніпулятора (чи іншим способом – вручну) на блискавкозахисний трос наступного прогону і закріплюється на ньому для подальшого просування. Потім буксир продовжує своє переміщення блискавкозахисним тросом другого прогону до наступної опори, переміщуючи за собою відрізок фіксуючого каната і пересуваючи по нижньому блоку нижнього вікна подвійного підвісного ролика тяговий канат.

Аналогічним чином виконують операції послідовно в усіх прогонах анкерної ділянки ПЛ, на якій здійснюється заміна блискавкозахисного тросу. Після закріплення буксира на блискавкозахисному тросі кожного наступного прогону до нього кріпиться черговий відрізок фіксуючого каната (з урахуванням довжини наступного прогону і висоти опори). Після цього, буксир продовжує рух до наступної анкерної чи проміжної опори, переміщуючи за собою тяговий канат і фіксуючий канат.

Буксир продовжує просуватися в наступних прогонах (рис. 5.20), а на кожній наступній позначці чергового відрізка фіксуючого каната виконується наступне закріплення подвійного підвісного ролика доти, доки буксир не наблизиться до анкерної опори № 2, розташованої поблизу ТГК-2.

Після протягування тягового каната по всій довжині анкерної ділянки, один його кінець опускають і закріплюють на тяговому механізмі біля анкерної опори № 1. Другий кінець тягового канату спускають з анкерної опори № 2 і за допомогою спіральної арматури і пристосування для запобігання скручуванню (вертлюга) з'єднують з новим тросом, який до того було заведено у барабани гальмового механізму. Після цих операцій буксир для подальших дій не потрібний, його демонтують і опускають донизу біля опори № 2 гальмової зони. Схему остаточного протягування тягового канату наведено на рис. 5.21.

Протягування нового блискавкозахисного троса

Процедура протягування нового троса чи ОКГТ по розкочувальним роликам за допомогою тягового каната містить такі операції.

1. Дії на площадці гальмової зони:

- на площадці ТГК-2 гальмової зони підготовлюють новий трос на барабані і протягують його через гальмівний механізм ТГК-2;
- тяговий канат за допомогою спіральної арматури і вертлюга з'єднують з новим блискавкозахисним тросом. Спіральна арматура фіксується за допомогою бандажів, які обмотуються декількома шарами ізоляційної стрічки.

2. Дії на площадці тягової зони:

- за командою керівника робіт вмикають тяговий механізм, який за тяговий канат витягує новий трос;
- кінець тягового каната, що звільняється після тягового механізму, змотується на барабан тягового каната.

3. Сумісні дії всіх зон:

- після початку роботи тягового механізму відбувається витягування за тяговий канат нового троса. Кінець тягового каната, що знаходиться у гальмовому механізмі, затягує новий трос у гальмовий механізм. Необхідне тяжіння створюється гальмуванням за допомогою гальмового механізму;
- перед виходом кінця нового троса біля останньої опори із гальмового механізму до цього кінця троса приєднують додатковий тяговий канат. Після підйому кінця троса тяжіння створюється через натяг допоміжного тягового канату до завершення операції протягання.

Схему початку протягання нового блискавкозахисного троса наведено на рис. 5.22, а схему, коли новий блискавкозахисний трос протягнуто по всій довжині ділянки, на якій виконується заміна старого блискавкозахисного троса на новий, наведено на рис. 5.23.

Процедура обміну місцями нового і старого тросів

Процес обміну місцями базується на відомому принципі, за яким трос (чи провід), у якого тяжіння більше, розташовується вище ніж трос (провід), тяжіння якого менше (за інших рівних умов). Зважаючи на це, виконання цієї процедури містить такі дії:

- після завершення витягування нового троса на проміжних опорах старий блискавкозахисний трос перекладають у розкочувальні ролики. В інших зонах витягають новий блискавкозахисний канат, перекладають його у штатний підтримувальний затискач і закріплюють на постійному місці;
- натягують новий блискавкозахисний трос до розрахункового зусилля, яке перевищує зусилля натягу старого троса. Як наслідок, відбувається переворот підвісних блоків (новий трос має стати вище старого троса);
- приєднують старий блискавкозахисний трос до тягового каната тягового механізму і від'єднують його від тросостояка.

Процес перевороту і зміну положення подвійних підвісних роликів показано на рис. 5.24. Кінцеву стадію перевороту подвійних підвісних роликів на 180° наведено на рис. 5.25. Після перевороту подвійних підвісних роликів новий блискавкозахисний трос виявляється вгорі, тобто у верхнім вікні подвійного підвісного ролика, а старий блискавкозахисний трос – унизу, тобто в нижнім вікні подвійного підвісного ролика. Середня частина блоків, з'єднана фіксуючим тросом, залишиться без змін і буде, як і раніше, виконувати рівномірне (через 10 – 15 м) підвішування тепер старого троса під новим (рис. 5.26).

Демонтаж старого троса:

- за командою керівника робіт включають тяговий механізм, який через тяговий канат притягує старий канат до заходу його в тяговий механізм;
- барабан з тяговим тросом відставають, і на його місце у пристрої встановлюють пустий барабан, призначений для змотування на нього старого блискавкозахисного троса;
- заводять до барабану вільний кінець старого троса;
- включають тяговий механізм для продовження витягування старого тросу та змотування його на барабан до повного витягання (рис. 5.27). Під час цієї спільної дії двох механізмів гальмовий механізм створює гальмування через тяговий канат для підтримання потрібного тяжіння у старому тросі.

Старий трос на барабані від'єднують від тягового каната і відставляють барабан зі старим тросом, а на його місце встановлюють барабан для тягового каната.

Демонтаж підвісних блоків.

Дії на площадці гальмової зони виконуються за допомогою робота у режимі гальмування або додатковим гальмовим пристроєм:

- на новому блискавкозахисному тросі встановлюється гальмо і виконується регулювання зусилля гальмування;
- канати від'єднуються (фіксуючий – від тросостояка, а тяговий – від гальмового механізму) і приєднуються до гальма;
- тяговий і фіксуючий канати витягуються у бік тягового кінця ділянки ПЛ.

Завершальною дією є демонтаж обладнання з опор (спочатку з гальмового кінця, потім з проміжної опори і на завершення з опори тягового кінця ПЛ).

Висновки

Проаналізовано досвід провідних країн із запровадження роботизованих комплексів для виконання робіт на електроустановках, що перебувають під робочою напругою. Наведено докладний приклад використання роботизованого комплексу під час заміни блискавкозахисного тросу на ПЛ напругою 330–750 кВ в електричних мережах України.

Завдання для самоперевірки

1. Наведіть приклади світового досвіду застосування роботизованих комплексів для обслуговування електричних мереж під робочою напругою.
2. Проаналізуйте відмінності застосування роботизованих комплексів у вітчизняній практиці.
3. Охарактеризуйте найпоширеніші операції ПРН із використанням роботизованих комплексів.
4. Проаналізуйте послідовність операцій із заміни блискавки захисного троса на ПЛ за допомогою радіокерованого моторизованого буксира.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

ОСНОВНА ЛІТЕРАТУРА

1. ПБЕЕ (ДНАОП 1.1.10-1.01-2000). Правила безпечної експлуатації електроустановок. Затверджені наказом Комітету з нагляду за охороною праці України від 21.01.2000 р. № 20, зареєстровані Міністерством юстиції України 06.04.2000 р. за № 213/4434.
2. ДБН А.3.2-2-2009 (НПАОП 45.2-7.02-12) Система стандартів безпеки праці. Охорона праці та промислова безпека у будівництві. Основні положення. Затверджена наказом Мінрегіонбуду України від 27.01.2009 р. за № 53 та від 30.12.2011 р. за № 417.
3. Державні санітарні норми і правила при виконанні робіт в невідкритих електроустановках напругою до 750 кВ включно. Затв. наказом МОЗ від 09.07.97 р. № 198.
5. Правила улаштування електроустановок. Розділ 2. Передавання електроенергії. Глава 2.3. Кабельні лінії напругою до 330 кВ. – К.: «КВІЦ», 2009.
6. Правила улаштування електроустановок. Розділ 2. Передавання електроенергії. Глава 2.4. Повітряні лінії електропередачі напругою до 1 кВ. Глава 2.5. Повітряні лінії електропередачі напругою вище 1 кВ до 750 кВ. – К.: ОЕП «ГРІФРЕ», 2006.
7. Правила улаштування електроустановок. Глава 4.1. Розподільні установки напругою до 1,0 кВ змінного струму і до 1,5 кВ постійного струму. Глава 4.2. Розподільні установки та підстанції напругою понад 1 кВ. – К.: ОЕП «ГРІФРЕ», 2008.
8. СОУ-Н ЕЕ 20.666:2007 Інструкція з виконання робіт під напругою на ПЛ 110 – 750 кВ. – К.:ОЕП «ГРІФРЕ», 2007.

9. СОУ-Н ЕЕ 20.179:2008 Розрахунок електричного і магнітного полів лінії електропередавання. – К.: ДП «Укрсільенергопроект», 2008.
10. Удод Е.И. Ремонт электроустановок под напряжением. – К.: Техніка, 1986.
11. Технологические карты производства работ под напряжением на ВЛ 220 – 750 кВ / Удод Е.И., Кульматицкий О.И., Таловерья В.Л., Хвостин Н.В. Под редакцией Е.И. Удоды. – К.: Техніка, 1988.
12. Г.А. Виевская, Ю.В. Огула, И.Л. Решетник. К вопросу о влиянии электромагнитных полей промышленной частоты на состояние нервно-психического здоровья электромонтеров, работающих на неотключенных высоковольтных линиях. – Винница-Киев, 1993.
13. Влияние электроустановок высокого напряжения на окружающую среду. Переводы докладов Международной конференции по большим электрическим сетям (СИГРЭ-80). – М.: Энергоиздат, 1982.
14. Барг И.Г., Полевой С.В. Ремонт воздушных линий электропередачи под напряжением. - Энергоиздат, 1989, - 224 с.

ДОДАТКОВА ЛІТЕРАТУРА

15. Удод Е.И., Таловерья В.Л., Рубаненко А.Е., Крыжов Г.П. Замена грозозащитного троса на оптический кабель, встроенный в грозозащитный трос на линиях электропередачи высокого и сверхвысокого напряжения без вывода линии из работы / Киев, Новини енергетики, № 10, 2007 с. 22-29.
16. СОУ-Н-ЕЕ 20.668:2007 Використання спіральної арматури для ремонту проводів і тросів ПЛ 35-750 кВ.- 2007
17. Крижов Г.П., Удод Т.Є. Використання спіральної арматури для ремонту проводів і тросів ПЛ 35-750 кВ. Методичні вказівки. – ДП НТУКІД «АсЕлЕнерго», 2007.