

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний університет  
Навчально-науковий інженерний інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем

**Пояснювальна записка**

до магістерської роботи

рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень

на тему Зниження втрат електричної енергії при боротьбі з  
ожеледеутворенням на лініях автоблокування та повздожнього  
електропостачання

Виконав: студентка 2 курсу, групи 8.141-з

Усенко А.В.

(прізвище та ініціали) (підпис)

спеціальності

141 Електроенергетика, електротехніка та

електромеханіка

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

141.00.11 Електроенергетика, електротехніка та

електромеханіка

(шифр і назва)

Керівник

Овчинникова І.А.

(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя  
2022 рік

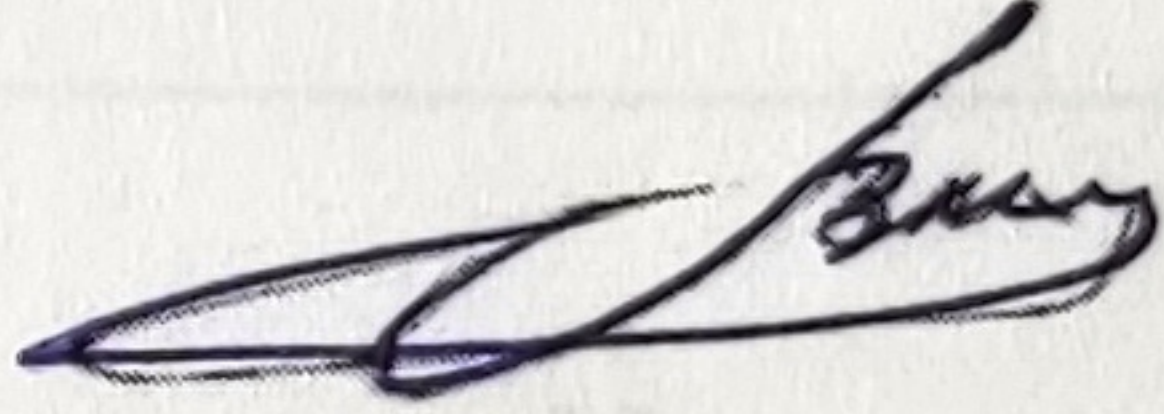


Запорізький національний університет  
Навчально-науковий інженерний інститут ім. Ю.М. Потебні  
(повне найменування вищого навчального закладу )  
Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем  
(повна назва кафедри)  
Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень  
(повна назва кафедри)  
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(шифр і назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)  
Освітньо-професійна програма 141.00.11 Електроенергетика,  
електротехніка  
(шифр і назва)  
та електромеханіка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

Д.Т.Н., доц.

  
В.Л. Коваленко

“ 12 ” грудня 2022 року

### **ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу студенту

Усенко Анні Володимирівні

- 1. Тема роботи:** Зниження втрат електричної енергії при боротьбі з ожеледеутворенням на лініях автоблокування та поздовжнього електропостачання
- Керівник роботи:** Овчинникова І.А.  
затверджені наказом ЗНУ від « 02 » червня 2022 року № 598 - с
- 2. Строк подання студентом роботи:** 07 грудня 2022 року
- 3. Вихідні дані до роботи:** поточний тариф за споживання електроенергії; технічні дані трансформаторів; дані про об'єми споживання електричної енергії споживачами; матеріал проводів ліній передач
- 4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які рекомендовано розробити):**  
Вступ; 1) Ожеледь-паморозові утворення на дротах ліній енергопостачання; 2) Електричні способи боротьби з ожеледицею на проводах високовольтних ліній автоблокування та поздовжнього електропостачання; 3) Додаткові пристрої плавлення льоду; Висновки



**5. Перелік графічного матеріалу:** 1) Титульна сторінка; 2) Основні причини пошкодження високовольтних ліній електропередач; 3) Розподіл коротких замикань видами; 4) Принципова схема пристрою плавки ожеледиці; 5) Схеми плавки від пристрою плавлення ожеледиці

**6. Консультанти розділів дипломної роботи**

| Розділ        | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|---------------|---|----------------|------------------|
|               |   | завдання видав | завдання прийняв |
| Розділ 1      | Овчинникова І.А., доцент                  |                | <i>Усенко</i>    |
| Розділ 2      | Овчинникова І.А., доцент                  |                | <i>Усенко</i>    |
| Розділ 3      | Овчинникова І.А., доцент                  |                | <i>Усенко</i>    |
| Нормоконтроль | Башлій В.С., доцент                       |                | <i>Башлій</i>    |

7. Дата видачі завдання

01.06.2022 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів дипломної роботи  | Строк виконання етапів магістерської роботи | Примітка |
|-------|--|---|----------|
| 1     | Ожеледь-паморозові утворення на дротах ліній енергопостачання  | 01.10.2022                                  |          |
| 2     | Електричні способи боротьби з ожеледицею на проводах високовольтних ліній автоблокування та поздовжнього електропостачання | 01.11.2022                                  |          |
| 3     | Додаткові пристрої плавлення льоду   | 01.12.2022                                  |          |

Студент

Керівник дипломної роботи

Нормоконтролер

*Усенко*  
(підпис)

*Овчинникова*  
(підпис)

*Башлій*  
(підпис)

Усенко А.В.

(прізвище та ініціали)

Овчинникова І.А.

(прізвище та ініціали)

Башлій С.В.

(прізвище та ініціали)



## АНОТАЦІЯ

У представленій роботі проведено аналіз умов утворення ожеледі на дротах ліній електропередач, розглянуто особливості утворення ожеледиці та паморозі. В ході виконання роботи було проведено аналіз електричних способів боротьби з ожеледицею на проводах високовольтних ліній автоблокування та поздовжнього електропостачання залізниць, проведено відповідні розрахунки струмів та часовий діапазон, наведено схеми плавки ожеледиці та джерела живлення. Також у роботі наведено антиожеледні системи та різноманітні схеми для найбільш раціонального їхнього використання у різних умовах.

Ключові слова: ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГІЯ, СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ОЖЕЛЕДЬ, ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ, ВИСОКОВОЛЬТНІ ЛІНІЇ

## ANNOTATION

In the presented work, the conditions of the formation of ice on the wires of power lines were analyzed, the features of the formation of ice and frost were considered. In the course of the work, an analysis of electrical methods of combating ice on the wires of high-voltage lines of self-locking and longitudinal power supply of railways was carried out, the corresponding calculations of currents and time range were carried out, ice melting schemes and power sources were given. The work also provides anti-icing systems and various schemes for the most rational use of them in various conditions.

Keywords: ELECTRIC ENERGY, ELECTRICAL SUPPLY SYSTEM, ICE, POWER TRANSMISSION LINES, HIGH VOLTAGE LINES



## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| ВСТУП.....   | 6  |
| 1. ОЖЕЛЕДЬ-ПАМОРОЗОВІ УТВОРЕННЯ НА ДРОТАХ ЛІНІЙ<br>ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ .....  | 8  |
| 1.1 Ожеледиця і поморозь на лініях електропередач, як інженерна проблема.  | 8  |
| 1.2 Фізичні явища при утворенні ожеледиці .....  | 11 |
| 1.3 Особливості утворення ожеледиці та поморозі на лініях електропередач   | 16 |
| 1.4 Особливості високовольтних ліній автоблокування та поздовжнього<br>електропостачання .....   | 22 |
| 1.5 Індуктивний вплив на лінії зв'язку при боротьбі з ожеледицею .....   | 28 |
| 2 ЕЛЕКТРИЧНІ СПОСОБИ БОРТЬБИ З ОЖЕЛЕДИЦЕЮ НА ПРОВОДАХ<br>ВИСОКОВОЛЬТНИХ ЛІНІЙ АВТОБЛОКУВАННЯ ТА ПОЗДОВЖНЬОГО<br>ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....   | 32 |
| 2.1 Основні положення щодо здійснення плавки ожеледиці та<br>профілактичного підігріву проводів високовольтних ліній<br>автоблокування та поздовжнього електропостачання ..... | 32 |
| 2.2 Розрахункові струми та час плавки .....  | 36 |
| 2.3 Схеми плавки ожеледиці та джерела живлення .....   | 40 |
| 3 ДОДАТКОВІ ПРИСТРОЇ ПЛАВЛЕННЯ ЛЬОДУ .....   | 72 |
| 3.1 Плавка ожеледиці від перетворювача, підключеного до шин 6-10 кВ<br>або трансформатора .....  | 72 |
| 3.2 Антиожеледна система (АЛС) .....   | 87 |
| 3.3 Телевимірювання ожеледного навантаження на лініях поздовжнього<br>електропостачання .....  | 89 |
| ВИСНОВКИ .....   | 91 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....   | 92 |
| ДОДАТКИ .....  | 94 |



## ВСТУП

Понад 80% перевезень, що виконуються залізничним транспортом України, виробляються на електрифікованих ділянках. Збої у роботі останніх призводять до суттєвих матеріальних та моральних втрат.

Основною причиною тривалих перерв у русі поїздів на таких ділянках є несприятливі погодні умови, насамперед періоди інтенсивного ожеледиці (ГО). Відкладення ожеледиці та паморозі в зимові періоди року широко поширені в природі. При цьому навантаження на проводах і тросах зазвичай перевищують їх власну вагу і в поєднанні з вітром призводять до найбільш важкої схеми завантаження лінії. Природно, що особливо велике значення подібні навантаження набувають у сильно ожеледицьких районах, де вони у багато разів перевершують всі інші і пред'являють дуже суворі вимоги до конструкції ліній високої та низької напруги. Не буде перебільшенням, якщо я скажу, що саме розміри та вага ожеледисто-морозових утворень визначають вихідні умови при проектуванні механічної частини лінії та є одним з найважливіших розрахункових параметрів, що встановлюють основні розміри споруди та умови її майбутньої експлуатації.

Зі сказаного ясно те велике практичне значення, яке має правильний вибір розрахункових навантажень від ожеледиці, паморозі та супутніх їм метеорологічних явищ при спорудженні ліній електропередачі високої напруги.

Перебільшення ожеледно-морозових навантажень пов'язане з зайвими вкладенням великих коштів і матеріалів. У свою чергу недооцінка дійсних умов ожеледиці траси може призвести до цілої серії важких аварій: розривів проводів, вивертання траверз і навіть повного руйнування опор. В результаті дезорганізується робота транспорту та серйозний народногосподарський збиток неминучий.

Насправді застосовують різні способи боротьби з зледенінням проводів. Найбільш ефективним є електричний - нагрівання проводів від



джерела, встановленого на тяговий підстанції. Відомі дві модифікації цього способу: профілактичний підігрів проводів для попередження утворення ожеледиці і плавлення льоду, що вже утворився.

Слід зазначити, що використання струмів, що значно перевищують допустимі, обговорювалося ще у 70-х роках, проте відповідне рішення не було прийнято - у зв'язку з відсутністю надійного температурного контролю. Сучасний стан техніки дозволяє вирішити це завдання на необхідному рівні надійності та безпеки.



## 1 ОЖЕЛЕДЬ-ПАМОРОЗОВІ УТВОРЕННЯ НА ДРОТАХ ЛІНІЙ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ

1.1 Ожеледиця і поморозь на лініях електропередач, як інженерна проблема

Встановлення реальних умов завантаження ліній електропередачі в районах з сильною схильністю до ожеледеці і докладна розробка комплексу заходів, що забезпечують їх надійну експлуатацію і раціональну конструкцію, повинні розглядатися, як серйозні інженерні завдання в галузі передачі електричної енергії. Розглянемо у зв'язку з цим, які рекомендації робляться в електротехнічних правилах і нормах різних країн.

Існуючі норми орієнтуються на чотири різні райони ожеледиці з  $b = 5, 10, 15$  і  $20$  мм при питомій вазі осадку  $0,9$ . Одночасно рекомендується вести розрахунок за матеріалами фактичних спостережень у районі. Температура при ожеледиці приймається  $-5$  °С, а навантаження від вітру  $13,5$  і  $24$  кг/м<sup>2</sup>. При порівнянні один з одним наведених вище цифр, звертає на себе увагу надзвичайна різноманітність у вихідних припущеннях. У частині країн, як, наприклад, у Швейцарії, Голландії та Німеччині, вітер при ожеледиці взагалі не враховується, в інших державах, навпаки, вітрове навантаження береться дуже велике, особливо у Франції та частково Італії, Америці, Англії та Україні. Також по-різному характеризуються термічні умови. В Україні, Польщі, Німеччині та Голландії приймаються розрахункові температури  $-5$  °С, близьку цифру дають англійські ( $-5,5$  °С) і швейцарські ( $0$  °С) норми. У той самий час у Італії, Японії, США, Канаді і особливо у Норвегії виходять із значно нижчих температур ( $-15, -25$  °С).

Самі ожеледиці також істотно відрізняються один від одного. Найбільш важкі вимоги пред'являють швейцарські та союзні норми (IV район), порівняно невеликі – норвезькі, голландські та німецькі. Характерною особливістю норм ряду країн є встановлення розрахункових вимог незалежно



від конкретних умов того чи іншого району; водночас французькі та італійські правила цілком орієнтуються на матеріали спостережень.

Не розглядаються в нормах питання роботи ліній у сильно ожеледицьких районах і не дається жодних вказівок про можливі навантаження проводів у подібних умовах, не кажучи вже про ознаки сильно ожеледицьких областей. Якщо ще врахувати серйозні розбіжності в оцінці таких важливих розрахункових параметрів, як тиск вітру і температура при ожеледиці, то стає цілком ясною недостатня опрацьованість ожеледиці в даний час.

Значне відставання має місце й у галузі теорії ожеледно-морозових явищ, де низка фундаментальних питань досі не вирішена наукою, а існуючі погляди нерідко суперечать один одному. Тому, поряд із всебічним опрацюванням інженерних методів боротьби з зледенінням, дуже велике значення набувають деякі питання фізики ожеледиці. Така постановка видається нам найбільш правильною і не тільки в науковому відношенні, але і в широкому плані практичних завдань спорудження та експлуатації ліній у сильно ожеледицьких районах, оскільки без успішного вирішення питань теорії неможливо досягти мети з мінімальними витратами коштів і матеріалів. Саме з цих причин така велика увага приділялася всім цим питанням на сесіях міжнародних конференцій з великих мереж високої напруги.

Ожеледно-вітерові навантаження на ЛЕП призводять до досить великих відсотків ушкоджень ЛЕП (рис. 1.1), близько 18 % від усіх причин ушкоджень і посідають друге місце серед усіх причин ушкоджень ЛЕП [1 - 8].

Ожеледні аварії періодично дезорганізують електропостачання цілих регіонів, викликаючи:

- розрегулювання проводів, їх зближення та замикання;
- інтенсивний танець проводів, що викликає їх короткі замикання, опіки проводів і, як наслідок, їх обриви, а в деяких випадках пошкодження кріплень;
- перевантаження та обриви проводів;



- руйнування опор в результаті обриву проводів, коли виникаючі невірноважені тяжіння на опори від проводів, що залишилися цілими, значно перевищують розрахункові;

- руйнування опор внаслідок спільного впливу ожеледиці та сильного вітру, спрямованого під кутом  $6 - 90^\circ$  до повітряної ЛЕП;

- перекриття лінійної ізоляції повітряних ЛЕП під час танення ожеледиці;

- перекриття повітряної ізоляції (провід – земля) при сильному зменшенні висоти провису дроту через ожеледицю.

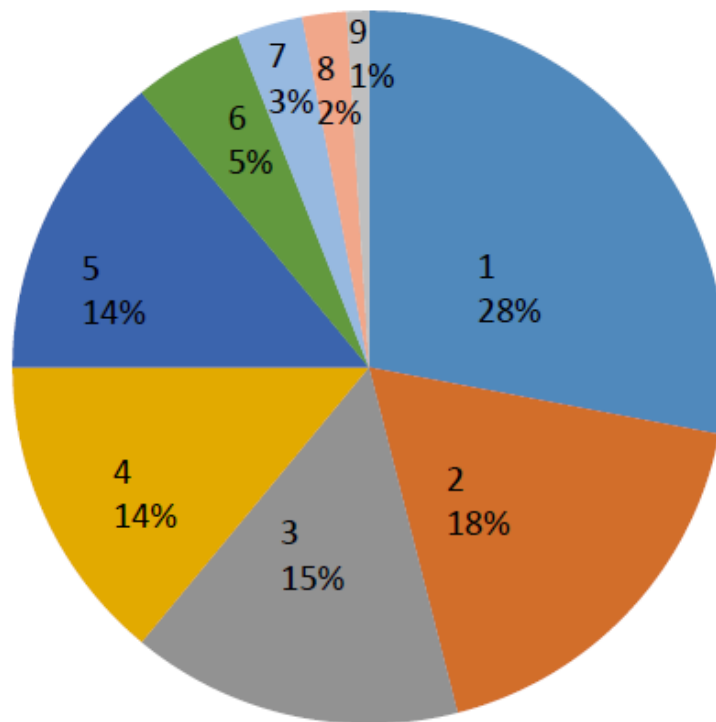


Рисунок 1.1 – Основні причини пошкоджень високовольтних ліній електропередач:

- 1 – сторонні впливи (падіння дерев, наїзди, начерки, розстріли ізоляторів);  
 2 – ожеледь-вітрові навантаження; 3 – атмосферні перенапруги; 4- втрата несучої здатності, знос, корозія; 5 – дефекти проектування, будівництва та монтажу; 6 – дефекти експлуатації; 7 – забруднення ізоляції, птиці;  
 8 – нерозрахункові режими у мережі; 9 - стихійні явища (землетруси, селі, зсуви і т.д.)



При значних ожеледних навантаженнях дроти ліній електропередачі обриваються, рвуться гірлянди ізоляторів, що несуть їх, і дроти падають на землю, як це видно на рисунку 1.2 [20].



Рисунок 1.2 – Відкладення морозу на алюмінієвому дроті показано білим шаром

## 1.2 Фізичні явища при утворенні ожеледиці

Загальні фізичні умови утворення ожеледиці і паморозі відомі достатньою мірою. Спостерігаються вони зазвичай при температурах трохи нижче нуля, у туманну погоду, або ж при випаданні переохолодженого дощу. Вологість повітря буває при цьому дуже високою, близькою до 100%. За таких умов перехід сконденсованої вологи в твердий стан є цілком природним і навіть неминучим, оскільки дотик переохолоджених крапельок води з «затравкою» у вигляді шматочка льоду або твердого тіла з температурою нижче 0 °С безумовно порушує її переохолоджений стан і тягне за собою



негайну кристалізацію. Очевидно, будь-який елемент лінії задовольняє обом цим умовам і повинен бути природним центром кристалізації переохолодженої атмосферної вологи.

Можливий і безпосередній перехід із пароподібного стану у твердий, минаючи рідку фазу, так звана сублімація. Це явище дозволяє пояснити випадання твердих опадів без туману при прозорому повітрі. Такі випадки вказувалися зрідка спостерігачами і зазначені в літературі, хоча, мабуть, зустрічаються вони порівняно рідко, а розміри таких відкладень, як правило, невеликі. У величезній більшості випадків, а при потужних утвореннях - завжди, спостерігачами відзначається туман з негативними температурами. Зрозуміло, сублімація можлива і за туману одночасно з кристалізацією.

Питання про те, який із цих двох процесів є визначальним, має велике наукове та практичне значення, оскільки середній вміст води та пари в атмосфері близькі один до одного, і, отже, ступінь їхньої участі в ожеледиці має суттєве значення при оцінці можливої інтенсивності відкладень. Настільки серйозна розбіжність пояснюється, на мою думку, тими великими труднощами, з якими пов'язані дослідження спорожнення і ожеледиці в природних умовах, де неможливо спрямовувати і регулювати досліджуваний процес.

Саме з цих причин для з'ясування фізичної картини явища я гадав необхідним вдатися до методів лабораторного дослідження. Зауважимо, що досліди отримання льоду (не морозу) з переохолоджених крапель робилися Чернишем, а при випробуваннях в аеродинамічній трубі з переохолодженими краплями на моделях літаків був отриманий каламутний гладкий лід.

Експерименти проводилися в холодильних камерах промислового типу; для отримання потоку переохолоджених крапель застосовувалося розпилення води за допомогою ежектора і конденсація пари, що виробляється невеликим електричним котлом.

Температура формування ожеледно-морозових утворень відрізняється від температури середовища і залежатиме ще від цілого ряду інших причин,



як, наприклад, кількості опадів, що відкладаються, в одиницю часу і умов тепловідведення. При дуже інтенсивній подачі вологи навіть при дрібних крапельках і низьких температурах повітря можна отримати тому чисті ожеледиці формації. Більше того, при особливо великих кількостях подається вологи частина крапельок взагалі не зможе замерзнути і буде скочуватися з дроту.

До факторів, що сприяють ущільненню осаду, слід віднести підвищення вологи вмісту повітря, при якому збільшується кількість кристалізується вологи, а отже, і температура формування осаду. Очевидно, спостереження Одеської обсерваторії, які отримані в слабоожеледному районі, не можна вважати цілком достатніми. Таким чином, можна зробити висновок, що структура осаду є функцією низки сумірних фізичних факторів.

Розглянемо тепер, як поєднуються ці явища у природі. При морозі та переохоложеному дощі краплі падають на провід у дуже великій кількості, мають значний розмір і не надто переохоложені. Це сприяє утворенню ожеледицьких форм.

При низьких температурах розміри крапель менше (здатність до переохолодження у дрібних крапельок вище), кількість сконденсованої вологи також зменшується (мряка і дощ, як правило, відсутні) і, отже, весь комплекс умов стає сприятливим для відкладень морозу і, навпаки, несприятливим для ожеледиці. Як бачимо, сукупність природних умов призводить до відомої визначеності у структурі ожеледних утворень.

Сказане добре пояснює суперечливість думок про умови формування ожеледиці і паморозі. Оскільки явища, що визначають структуру осаду, діють згідно один з одним, остільки, взявши в основу міркувань будь-яке з них, отримаємо підтвердження його найбільшого впливу на форму відкладень.

Для характеристики значення вітру при ожеледь-морозевих утвореннях у середу з переохолоджених крапель поміщався вентилятор, лопаті якого були замінені товстими дротиками. В результаті утворився осад, фотографія якого



представлена на малюнку. Як видно, товщина шару паморозі зростає зі збільшенням відносної швидкості потоку повітря за лінійним законом.

У природі можливе таке поєднання умов, коли відбувається послідовне нашарування різних видів відкладень один на одного. Дуже особливий вид осаду представляє суміш снігу, що тоне, з водою, так званий мокрий сніг, що падає пластівцями в сиру погоду. Завдяки своїй липкості він може зумовити велике навантаження на дротах.

Щодо класифікації ожеледно-морозових утворень немає повної ясності. Тим часом це питання має не тільки академічне, а й велике практичне значення, оскільки вид освіти тісно пов'язаний з його об'ємною вагою, а отже, і можливим навантаженням проводів. Необхідність поділу між ожеледицею і паморозі визнається всіма, що ж стосується самої паморозі, то одні розрізняють три види її, інші два, треті всі ці форми об'єднують.

Від паморозі необхідно відрізнити подібний з нею іній, що утворюється на горизонтальних поверхнях, на землі та гілках дерев у ясні світлі ночі, коли ці поверхні сильно охолоджуються через явища радіації. Утворення інею, як правило, невеликі і не мають практичного значення для ліній.

Деякі дослідники, пов'язані з авіацією, пропонують поділ ожеледиць на гладкі прозорі і шорсткі, молочного кольору, мало прозорі. Останнє пояснюється, мабуть, негативним впливом шорстких поверхонь на льотні якості літака.

Під морозом розуміють непрозорий осад дрібних кристалів льоду, що відкладаються при нулі градусів під час туману. Об'ємна вага її 0,1 - 0,25, за своїм зовнішнім виглядом паморозь нагадує сніг. Ожеледиця утворюється при випаданні крижаного дощу або в насиченому вологому повітрі при температурі нижче 0 °С і вітрі. Найширше порушує питання проф. Глазунов, який під паморозі розуміє білі пухкі опади з об'ємною вагою від 0,05 до 0,6, що відкладаються при тумані та негативних температурах. До ожеледиці проф. Глазунов зараховує прозорі крижані утворення з об'ємною вагою 0,6 – 0,9, що виникають при випаданні крапель переохолодженого дощу.



На даний час досі немає єдиної класифікації через різне бачення та умови виникнення розглядуваного явища. Тому можна запропонувати поділяти на такі основні групи це явище:

- а) ожеледиця,
- б) паморозь,
- в) змішані утвори.

Особливу групу складають відкладення мокрого снігу, що істотно відрізняється від всіх інших за природою свого утворення.

Ожеледиця являє собою осад у вигляді твердого, прозорого або напівпрозорого (білуватого) льоду з гладкою поверхнею. Ожеледиця відрізняється значною твердістю та прозорістю. Об'ємна вага його знаходиться в межах 0,6 - 0,9. Утворення ожеледиці відбувається на вертикальних і горизонтальних поверхнях за наявності в повітрі переохолоджених крапель дощу, мряки та туману. Температура утворення ожеледиці лежить зазвичай між нулем і  $-3^{\circ}\text{C}$ , проте, в окремих випадках можливе зниження температури до  $-5^{\circ}\text{C}$  і навіть до  $-6^{\circ}\text{C}$ .

Після сильних морозів можливе утворення ожеледиці на сильно охолоджених поверхнях (на землі) при дощах і туманах з температурою вище нуля через малу теплоємність провідів подібні відкладення не мають для них значення. Ізморозь має вигляд білого кристалічного осаду (іноді зі злегка льодяними прожилками), що нагадує собою сніг. Відкладається вона суцільним шаром з невеликими потовщеннями або пір'ям (гребінцями), зверненими у бік вітру. Температура відкладення паморозі становить зазвичай від  $-1,5$  до  $-10^{\circ}\text{C}$ ; об'ємна вага 0,09 – 0,3. Утворення паморозі відбувається на вертикальних поверхнях з навітряного боку за наявності переохолоджених крапель туману або мряки. У деяких випадках паморозь відкладається у вигляді голок, гілочок або бахроми ажурної будови. У цьому випадку вона має тенденцію рости на вістрях, краях та подібних частинах предметів, причому відрізняється значною крихкістю.



Під змішаними утвореннями розуміється послідовне нашарування ожеледиці і морози один на одного; результуючий об'ємний вага відкладення може бути різний, залежно від товщини окремих шарів. Змішані утворення виникають при чергуванні умов, що сприяють появі тієї чи іншої форми осаду. Мокрий сніг за своїм зовнішнім виглядом не відрізняється від звичайного, але має велику липкість. Випадає він при температурі близької до 0 °С у вигляді снігу, що тоне, або в суміші з дощем. Завдяки своїй липкості мокрий сніг пристає до дротів і при зниженні температури дає міцне утворення з об'ємною вагою 01-04.

Всі розглянуті види відкладень, за винятком голчастої паморозі, мають достатню механічну міцність, щоб витримати тиск вітру розгойдування проводів і т. п., не обсипаючись. Голчаста паморозь внаслідок своєї крихкості, при сильних вітрах ламається і відпадає.

### 1.3 Особливості утворення ожеледиці та паморозі на лініях електропередач

Розглядаючи ожеледно-морозові явища на проводах і тросах повітряних ліній, слід враховувати ряд особливостей їх розвитку, зумовлених конструкцією споруди та властивостями матеріалів, що застосовуються.

Як вже зазначалося, утворення осаду відбувається на підвітряних поверхнях зледеніння предметів, тому при поперечних вітрах на дроті виникає односторонній гребінець, що росте в навітряний бік, звідки дме вітер. З розвитком процесу вага осаду збільшується, і провід під впливом ексцентричного навантаження починає закручуватися. Гребінець з горизонтального стає похилим, внаслідок чого зледенювана поверхня значно зростає, а ожеледоутворювальний процес посилюється. При цьому до дії ексцентричного ожеледь надається закручує сила вітру. Подібну форму осаду часто називають флатом, бороною тощо.



Оскільки одностороннє утворення триває, провід все більше закручується і в кінцевому рахунку з усіх боків обволікається ожеледицею або з-мороздю, яка набуває досить правильну циліндричну форму.

Для кількісної характеристики здатності проводів до закручування розглянемо кілька докладніше.

Приріст кута закручування на елементі довжини  $d_x$ , як відомо, буде

$$d\psi = \frac{M}{G_c J_p} dx, \quad (1.1)$$

де  $M$ -крутний момент на відстані  $x$  від затиску;

$G_c$  -модуль зсуву;

$J_p$  -момент інерції.

Нехай момент, що припадає на одиницю довжини дроту при горизонтальному положенні гребінця, буде  $m$ , тоді повний момент, що крутить, на відстані  $x$  від точки закріплення (затиску) при прольоті буде

$$M = \int_x^{\frac{l}{2}} m \cos \psi dx. \quad (1.2.)$$

Користуючись рівняннями, можна зробити точний розрахунок кутів закручування. Рішення диференціального рівняння, що виходить, зводиться до еліптичних інтегралів, причому потрібні додаткові перетворення для приведення їх до канонічного вигляду. Громіздкість рішення не виправдовується наближеним характером вихідних умов, оскільки точний облік ексцентрично зростаючого навантаження від ожеледиці і морозу неможливий. Спрощене рішення можна отримати, вважаючи, що зміна моменту  $J_p$  за довжиною слідує лінійному закону.

Тоді

$$d\psi = \frac{m \cos \psi}{G_c J_p} \left( \frac{l}{2} - x \right) dx, \quad (1.3.)$$

звідки після інтегрування знаходимо:



$$d\psi = \frac{m \cos \psi}{G_c J_p} \left( \frac{l}{2} - x \right) dx, \quad (1.4.)$$

При розрахунку багатожильних проводів передбачалося, що ковзання окремих зволікань не відбувається.

Проводячи вимірювання, можна зробити висновок, що завдяки значній довжині прольоту вже при невеликих ексцентричних навантаженнях провід легко закручується на кут, близький до  $90^\circ$  С (навіть якщо не враховувати тиску вітру). Таким чином, утворення циліндричних форм паморозі при ексцентричному наростанні опадів, що триває, і закручуванні дроту цілком закономірно. Ця обставина істотно впливає на механізм ожеледоутворення і робить вагу ожеледисто-морозових навантажень на лініях незрівняним з спостережуваним на коротких жорстко закріплених стрижнях, де осад залишається горизонтальним і одностороннім протягом всього ожеледоосвітнього процесу. Аналогічні явища матимуть місце у затискачів, де тому осад тримається слабше. При плавленні ожеледно-морозових утворень ці місця звільняються тому в першу чергу.

Розглянутий механізм утворення ожеледиці залишає неясним виникнення циліндричних форм ожеледиці при невеликій товщині стінки, коли закручування дроту виключено.

Такі випадки пояснюються особливостями відкладення суто ожеледиць. Як зазначалося, останні утворюються за нормальної температури трохи нижче нуля, під час мряки чи переохолодженого дощу, тобто при падінні крапельок зверху, а за наявності вітру – ще й з боків. Характерною особливістю всього процесу є повільне замерзання, при якому краплі встигають розпливатися по дроту, скочуються вниз і оточують його більш-менш рівним шаром з усіх боків. При сильному дощі осад може вийти навіть з максимальною товщиною в нижньому сегменті. Ці міркування були повністю підтверджені дослідями в холодильній камері та надзвичайно



цікавими утвореннями ожеледиці в Англії при сильному переохолодженому дощі.

Зважаючи на велике принципове значення цього питання вважаю необхідним відзначити наступне:

1) Випадок реальної лінії передачі з великими прольотами та стрілами провисання навряд чи можна прирівнювати до короткого досвідченого стрижня.

2) Згідно з спостереженнями, протягом тривалого ожеледь вітер рідко зберігає незмінним свій напрямок, якщо тільки немає якихось місцевих орографічних особливостей, що зумовлюють таку сувору сталість (наприклад, долина, обмежена високими хребтами).

Розглянемо тепер вплив матеріалу дроту. Значення його у зв'язку з теплоємністю стало відзначатися в електротехнічній літературі на підставі спостережень на горі Брокен, що показали підвищене навантаження на ожеледицю алюмінієвих проводів (на 10 - 25%) в порівнянні з мідними.

Об'єктивно аналізуючи питання, слід зазначити, що запасена теплова енергія мідного або алюмінієвого дроту дуже мала (порядку, кількох джоулів на 1 см довжини та 1 °C) і може бути розсіяна протягом приблизно 10 хвилин при слабкому вітрі.

За таких умов вплив теплоємності матеріалу відіграватиме відому роль лише в початковій стадії ожеледиці, а при тривалих процесах не повинно бути суттєвим. Що ж до спостережень на Брокені, то там алюмінієвий провід був підвішений у прольоті 10 м, у той час як мідний мав довжину 4,5 м. Враховуючи меншу жорсткість алюмінієвого дроту і більшу довжину прольоту, можна показати, що його здатність до закручування була приблизно в 10 разів вище, ніж мідного. Тим часом, повертаючись навіть на невеликий кут, алюмінієвий провід сильно збільшував базу для осадження ожеледиці і тим самим підвищував навантаження. Отже, різниця у терезах відкладень була викликана не різницею теплоємності проводів, а головним чином їх різною здатністю до закручування. Правильність мого укладання найкращим чином



підтверджують самі брукенські матеріали, згідно з якими найбільша різниця у терезах мала місце не на початку процесу, як це було б через відмінність теплоємності, а наприкінці його, як це і повинно бути за різних умов закручування.

Суттєвіше вплив матеріалу, коли порівнюються відкладення на металевих поверхнях і різних тканинах, деревині і подібних предметах, що істотно відрізняються за своїми властивостями від металів (не тільки по теплоємності, але і по теплопровідності). Цим саме пояснюється, що при зледеніння літальних апаратів освіта ожеледиці починається з відтяжок та інших металевих частин.

Дуже суперечливо оцінюється нині вплив діаметра дроту. На основі спостережень на Брукені була запропонована залежність між погонним навантаженням і діаметром. З іншого боку, на ряді ліній як, наприклад, у Тарані та Оверні, розміри ожеледно-морозових утворень на тонких проводах значно перевищували спостерігаються на товстіших, підвішених на тих же опорах. При спостереженнях в Іспанії інтенсивність відкладень на проводах ліній передачі та зв'язку (поки останні не порвалися) виявилася приблизно однаковою при рівних прольотах. Зрештою, за спостереженнями, на Північному Кавказі відкладення на лініях зв'язку були значно меншими, ніж на проводах високої напруги.

Вочевидь, вплив діаметра дроту на лініях не можна розглядати ізольовано від жорсткості матеріалу і довжини прольоту, так як від поєднання всіх цих величин буде залежати кут закручування дроту. При відкладенні ожеледиці на коротких досвідчених стрижнях (випадок Брукена) із закручуванням можна майже не зважати, і максимальна вага досягається на товстому дроті з найбільшою базою для осадження паморозі. Аналогічна картина виходить у початковій стадії процесу і в дійсному прольоті, однак, надалі тонший провід закручується швидше і тим самим різко збільшує базу для утворення опадів, в результаті їх вага швидко зростає та обганяє зростання навантаження. У цьому випадку співвідношення між вагами ожеледисто-



морозових утворень на проводах різних перерізів залежатиме від фази розвитку процесу.

Що стосується відкладень на лініях зв'язку, то здатність до закручування проводів при типових конструкціях ліній слабого струму менше, ніж у проводів лінії електропередачі. Якщо ще врахувати меншу початкову базу для утворення опадів (менший діаметр), то тоді зменшення розмірів ожеледно-морозових утворень, що спостерігалось нами, на проводах зв'язку в порівнянні з лініями високої напруги цілком природно.

Застосовуване зазвичай збільшення довжин прольотів у разі підвищення поперечного перерізу і жорсткості проводу надає сильне нівелюючу дію процес закручування. Тому для ходових конструкцій ліній 35 і 110 кВ умови для відкладення ожеледиці і морози відрізняються мало, і в завершених стадіях процесу результуючі навантаження на погонний метр можна вважати приблизно однаковими. При невеликих навантаженнях і взагалі в тих випадках, коли закручування дроту не відбувається, ваги відкладень повинні бути приблизно пропорційні зовнішньому діаметру дроту, і, отже, розрахунок по незмінній товщині стінки ожеледиці себе виправдовує.

Надзвичайно цікавим питанням при ожеледиці є вплив електричного поля. Підвищена інтенсивність процесу при наявності напруги відзначається в окремих закордонних роботах, крім того, про можливий вплив електричних зарядів на зледеніння літаків вказує Баркан, що обмежився, викладом відомих фізичних передумов, що стимулюють утворення крижаної кірки.

У вельми цінних матеріалах дослідницького товариства з високовольтних установок допускається підвищення інтенсивності ожеледь процесу за наявності напруги, проте, спеціально зазначається, що фізична природа явища не ясна.

Підвищену інтенсивність ожеледиці при наявності електричного поля не можна пояснити високим вмістом іонів, оскільки Вільсоном ще в 1897 р. було доведено, що конденсація на них можлива лише за величезного пересичення (400 – 700 %). Не може посилити ожеледі і власний заряд крапель,



завдяки його малій величині (500 - 3000 зарядів електрона) і змінному полю струму. Розглядаючи крапельку як провідну кулю і вважаючи поле в межах крапельки досить рівномірним, можемо написати:

$$F = \frac{1}{2} r_k^3 \text{grad } E^2, \quad (1.5.)$$

де  $F$  - діюча на крапельку сила в дінах;

$r_k^3$  - радіус крапельки в см;

$E$  - напруженість поля в електростатичних одиницях.

Якщо виразити  $F$  у грамах (г), а  $E$  - у В/см, то оскільки  $1\text{г} = 981\text{ даН}$ , а  $1$  електростатична одиниця напруженості поля дорівнює  $300\text{ В/см}$ , формула набуде вигляду:

$$F = 5,65 \cdot 10^{-9} r_k^3 \text{grad } E^2. \quad (1.6.)$$

На відстані  $d$  від дроту з радіусом  $r$  напруженість поля буде:

$$E = U/d \quad (1.7.)$$

Як видно, сила тяжіння краплі пропорційна квадрату прикладеної напруги і обернено пропорційна кубу відстані. Тому її вплив різко падає навіть при невеликому віддаленні від дроту.

#### 1.4 Особливості високовольтних ліній автоблокування та поздовжнього електропостачання

На ділянках залізниць, електрифікованих на постійному струмі, застосовуються пристрої сигналізації, централізації та блокування (СЦП) із частотою сигнального струму  $50\text{ Гц}$ . Ці пристрої отримують живлення від трифазної ЛЕП автоблокування з частотою  $50\text{ Гц}$  і лінійною напругою  $6$  або  $10\text{ кВ}$  і трансформаторів СЦБ потужністю  $30-100\text{ кВА}$ , що встановлюються на тягових підстанціях постійного струму, які розташовані зазвичай на відстані  $12-25\text{ км}$  один від одного. Зазвичай резервом ЛЕП автоблокування служать трифазні лінії поздовжнього енергопостачання з лінійною напругою  $6$  і  $10\text{ кВ}$ ,



прокладені на кронштейнах по опорах контактної мережі, які отримують живлення безпосередньо від шин 6 або 10 кВ тягових підстанцій.

Відбір електроенергії від цих ліній для різних апаратів та приладів, що входять в окремі елементи пристроїв СЦБ, на перегонах та станціях здійснюється однофазними лінійними трансформаторами типу ОМ-6 або ОМ-10 потужністю від 0,3 до 1,2 кВА або трифазними силовими трансформаторами, що мають потужність до 20 кВА.

ЛЕП поздовжнього енергопостачання на більшості ділянок залізниць призначені для постачання електроенергією нетягових залізничних об'єктів, а також сільськогосподарських та районних споживачів, розташованих поблизу залізниці, причому відбір потужності від цих ліній у ряді випадків сягає кількох сотень кіловольт-ампер.

Більшість ділянок залізниць з електричною тягою на змінному струмі обладнано автоблокуванням з частотою сигнального струму 75 Гц, пристрої якої отримують живлення від ЛЕП автоблокування з лінійним напруженням 6 кВ і частотою 75 Гц. Ці трифазні ЛЕП прокладені за окремими опорами та не мають резервної лінії. Їхнє електропостачання здійснюється від тягових підстанцій змінного струму, зазвичай віддалених на 40-60 км один від одного. На ряді ділянок змінного струму, електрифікованих в останні роки, застосована нова перспективна система автоблокування з частотою сигнального струму 25 Гц. На деяких таких ділянках електропостачання пристроїв СЦБ здійснюється від додаткового дроту з напругою 27,5 кВ і частотою 50 Гц, прокладеного по опорах контактної мережі та приєднаного до однієї з шин 27,5 кВ тягової підстанції змінного струму. Відбір потужності від цієї лінії здійснюється за допомогою однофазних комплектних трансформаторних підстанцій, включених між додатковим проводом і рейками. Перетворення струму промислової частоти в сигнальний струм із частотою 25 Гц проводиться статичними перетворювачами, встановленими безпосередньо у кожного споживача СЦБ. На більшості електрифікованих ділянок змінного струму з автоблокуванням на частоті 25 Гц



електропостачання пристроїв СЦБ проводиться від трифазних ЛЕП автоблокування з частотою 50 Гц і напругою 6 і 10 кВ, прокладених на окремих опорах і виконаних, як правило, сталевих проводами. Живлення цих ЛЕП одностороннє при довжині консолі 40-60 км від однієї з тягових підстанцій перемінного струму. Резервною лінією для живлення пристроїв СЦБ із частотою 25 Гц на електрифікованих ділянках змінного струму може служити система ДПР (два дроти-рейки). Вона служить також для комплексного енергопостачання однофазних і трифазних нетягових залізничних, районних і сільськогосподарських споживачів, розташованих поблизу залізниці, і отримує консольне харчування від шин 27,5 кВ тягових підстанцій.

Незважаючи на конструктивну відмінність ЛЕП автоблокування мають ряд загальних особливостей, які слід враховувати при виборі заходів щодо боротьби з ожеледицею на цих лініях. Ці ЛЕП істотно відрізняються від звичайних високовольтних ліній електропередачі, оскільки є сутнісно вельми протяжні розподільні пристрої. До них підключено кілька десятків однофазних і трифазних трансформаторів різної потужності, забезпечених роз'єднувачами, запобіжниками та розрядниками. Крім того, вони обладнані безліччю поздовжніх роз'єднувачів, призначених для відключення відповідних частин лінії, а також мають зазвичай високовольтні кабельні вставки і кабельні вводи поблизу підстанцій живлення.

ЛЕП автоблокування і поздовжнього енергопостачання розташовані далеко від залізничних колій і мають невеликі відстані між проводами, що знаходяться під високою напругою, що робить практично неможливим обслуговування цих ліній безпосередньо з рухомого складу (електро-возів, дрезин тощо). Тому застосування механічних і хімічних способів боротьби з ожеледицею на проводах цих ліній пов'язане з великими труднощами.

Найбільш ефективним, а в багатьох випадках і єдино можливим заходом по боротьбі з ожеледицею на цих високовольтних лініях є електричні способи. Вони дозволяють дистанційно видаляти ожеледицю в будь-якому



перерізі лінії при його плавці, а також запобігати утворенню ожеледиці на довжині всієї лінії при протиожеледному підігріві проводів.

Робочий струм ЛЕП автоблокування і поздовжнього енергопостачання зазвичай не достатній для підтримки їх проводів у нагрітому стані, тому підігрів проводів проводиться штучним шляхом або від сторонніх джерел живлення, або від тих же джерел, від яких лінія отримує живлення в робочому режимі. Вибір схеми плавки ожеледиці або профілактичного підігріву проводів залежить від місцевих умов: довжини та перерізу ЛЕП, можливості використання резервного живлення, наявності необхідного обладнання для живлення, його потужності та напруги. Від чіткої та безперебійної роботи зазначених ЛЕП безпосередньо залежить надійність роботи пристроїв СЦБ, а отже, безпека руху поїздів та пропускна спроможність залізниці. У цих умовах найбільший інтерес представляють електричні способи, що дозволяють здійснювати боротьбу з ожеледицею без припинення електропостачання споживачів.

Всі ЛЕП автоблокування та поздовжнього енергопостачання, на яких передбачається здійснення боротьби з ожеледицею електричними способами, повинні бути попередньо перевірені та приведені в стан, що забезпечує можливість безпечного їх нагріву. При цьому перерізи проводів (у мідному еквіваленті) в межах зони боротьби з ожеледицею повинні бути однаковими. Вступні кабелі та кабельні вставки, а також встановлені на лінії запобіжники повинні допускати тривале навантаження струмом плавки ожеледиці або профілактичного підігріву проводів. На лінії повинно бути місцевого зменшення сичення проводів через корозії. Повинна бути проведена ревзія стикових з'єднань і поздовжніх роз'єднувачів. Відмінність опору проводів окремих фаз на довжині зони боротьби з ожеледицею не повинна становити більше 1%.

При використанні схем накладання струму нагріву проводів на працюючу лінію, що викликають суттєве підвищення напруги між проводами лінії і землею, безпосередньо перед настанням ожеледичного періоду слід



проводити позачергове випробування ізоляції кабельних вставок і трансформаторів, підключених до лінії.

Залежно від умов охолодження дроту та товщини стінки ожеледиці час оплавлення останнього по-різному. Після видалення ожеледиці на всіх ділянках зони його плавки струм повинен бути відключений. При нагріванні проводів ліній, навантаження яких має значну величину (наприклад, лінії ДПР), при визначенні допустимих струмів слід враховувати також струм від робочого навантаження. У всіх випадках, коли це можливо, боротьбу з ожеледицею доцільно проводити мінімальним необхідним струмом, так як при цьому знижується ймовірність пошкоджень лінії, зменшується витрата електроенергії та необхідна потужність обладнання. Опір проводів є основним параметром, що визначає довжину зони боротьби з ожеледицею, а також необхідну напругу і потужність джерела живлення. Як відомо, величина погонного опору проводів залежить від матеріалу, поперечного перерізу їх і взаємного розташування. Залежно від роду струму розрізняють: при постійному струмі - омичний опір проводів, а при змінному струмі - активний, індуктивний і повний опір. Індуктивний опір складається з двох частин: внутрішнього і зовнішнього. Омичний та активний опори для проводів з кольорового металу, а також з біметалу практично однакові при постійному струмі і при змінному струмі з частотою 50 Гц (рис. 1.3). Для цих проводів активний та індуктивний опір не залежать від величини струму.

Такий характер зміни опору проводів зумовлений магнітними властивостями сталі. Сталеві проводи при діаметрі проводів у кілька міліметрів мають значний активний опір, що перевищує їх внутрішній індуктивний опір. Зовнішнє індуктивне опір, що визначається відстанню між проводами лінії, для сталевих проводів у багато разів менше внутрішнього і їм при розрахунках можна знехтувати.

Наведені значення омичного та активного опорів проводів відповідають температурі  $+20^{\circ}\text{C}$ . При плавці ожеледиці та профілактичному підігріві проводів їх температура близька до  $0^{\circ}\text{C}$ , тому значення опорів слід зменшити.



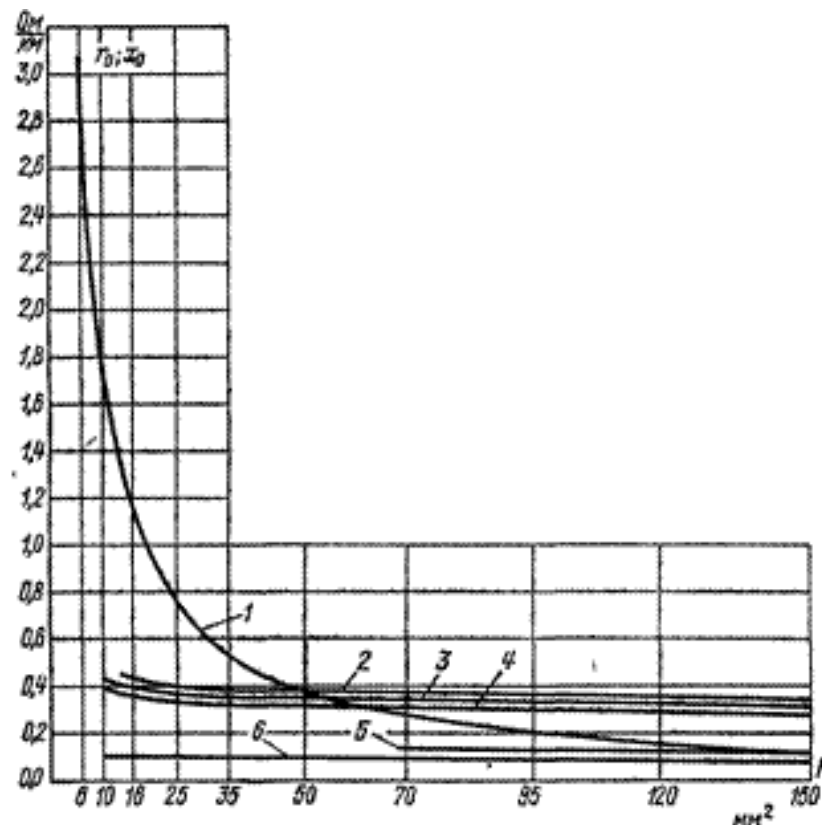


Рисунок 1.3 – Залежність індуктивного опору сталевих проводів від струму при частоті 50 Гц

На ділянках змінного струму в лініях ДПР застосовуються сталевалюмінієві дроти АС-35, АС-50, АС-70, АС-95, алюмінієві дроти А-25, А-35, А-50, А-70, а також сталеві дроти ПС- 25, ПС-35, а в лініях живлення працюють алюмінієві дроти А-25, А-240, а також сталевалюмінієві дроти АС-35, АС-185. У високовольтних лініях автоблокування використовуються алюмінієві дроти А-25, А-35, сталевалюмінієвий провід АС-35, сталемедний одножильний провід БМ-6, а також сталеві дроти ПСО-5, ПС-25, ПС-35. У ожеледних районах слід вибирати дроти для ліній, виходячи з механічних розрахунків при дійсних значеннях ожеледного навантаження і супутнього їй вітру, а також з урахуванням захисту проводів від вібрації.

Внаслідок поверхневого ефекту допустимі значення при змінному струмі для сталевих проводів нижчі, ніж при постійному струмі. При



підрахунку струму плавки ожеледиці необхідно враховувати також величину робочого струму лінії.

Ряд високовольтних ліній, що живлять пристрої автоблокування залізниць, а також ліній поздовжнього енергопостачання, виконаний сталевими проводами. Внаслідок нелінійності опору сталевих проводів істотно ускладнюється вибір струму боротьби з ожеледицею, оскільки нагрівання проводу залежить від значень струму та активного опору проводу, а останнє, у свою чергу визначається величиною струму, що проходить по проводу.

Вибір струму профілактичного підігріву або плавки ожеледиці для сталевих проводів з урахуванням нелінійності їх опору може бути виконаний методом послідовних наближень. Однак цей метод є громіздким, оскільки потребує багаторазових перевірочних розрахунків. Для отримання значення струму боротьби з ожеледицею на сталевих проводах з точністю, достатньою для практичних цілей, необхідно обчислення за наведеними формулами проводити, оперуючи не менше ніж з чотирма значущими цифрами. Обґрунтований вибір струму профілактичного підігріву проводів і плавка ожеледиці на них має велике значення при встановленні довжини ділянки лінії електропередачі, на якому можлива боротьба з ожеледицею, а також при визначенні потужності трансформаторів, від яких проводиться підігрів або плавка.

### 1.5 Індуктивний вплив на лінії зв'язку при боротьбі з ожеледицею

При проходженні по дроту змінного струму в навколишньому просторі виникає змінне магнітне поле, силові лінії якого, перетинаючи паралельно розташовані дроти, індуктують у них поздовжню е.р.с. екрануючої дії рейок. У міру збільшення відстані між проводами, що впливає і схильному до нього, наведена е.р.с. знижується. Коефіцієнт екрануючої дії рейок характеризує компенсацію наведеної е.р.с. струмом у рейковій мережі, який індуктований в



ній проводом, що впливає. Для проводів, розташованих поблизу залізничного полотна, середні значення цього коефіцієнта становлять на одноколійних ділянках 0,5, а на двоколійних 0,4. Коефіцієнт захисної дії кабелів зв'язку залежить від їхньої конструкції. Для спеціальних кабелів зв'язку, що прокладаються поблизу полотна залізниці у зв'язку з її електрифікацією на змінному струмі, цей коефіцієнт зазвичай дорівнює 0,1. Залежність повного опору звичайних кабелів зв'язку, взаємоіндукції від відстані вздовж полотна залізниці до її електрифікації на змінному струмі. Величина коефіцієнта близька до 0,5. Захист таких кабелів зв'язку від індуктивного впливу тягової мережі зазвичай здійснюється відсмоктуючими трансформаторами, що включаються в контактну мережу і зворотний провід. Коефіцієнт  $r_{cx} = 1$  для проводів, ланцюг зворотного струму яких проходить через землю (наприклад, для тягової мережі без відсмоктуючих трансформаторів).

При індуктивному впливі трифазної симетричної високовольтної лінії з ізольованою нейтраллю, дроти якої мають транспозицію з повним циклом не більше 9 км, коефіцієнт  $r_{cx}$  дуже невеликий. Тому з індуктивним впливом ліній автоблокування та поздовжнього енергопостачання при боротьбі з ожеледицею можна не зважати.

Розподіл наведеної е.р.с. у проводі, схильному до впливу, визначається його станом. При з'єднанні одного кінця дроту із землею напруження на цьому кінці дорівнює нулю, а на ізольованому кінці воно близьке до величини наведеної е.р.с.

У тих випадках, коли кабельні лінії обслуговують з використанням спеціальних заходів захисту, як норму приймають напругу, що становить 20 % від ефективної випробувальної напруги між житловою та оболонкою кабелю.

У разі виникнення вимушеного режиму плавка ожеледиці повинна бути припинена, щоб уникнути перевищення допустимих величин індуктованих напруг в лініях зв'язку.

На електрифікованих ділянках залізниць, вздовж яких прокладені кабелі зв'язку без спеціальної захисної оболонки та інші комунікації, що



захищаються від впливу тягової мережі відсмоктуючими трансформаторами, боротьба з ожеледицею розглянутим способом неприпустима за умовами індуктивного небезпечного впливу системи ДПР на лінії зв'язку. На таких ділянках плавку ожеледиці можна здійснювати за петльовою схемою.

При спільному індуктивному впливі на лінію зв'язку обох аналізованих систем і рівності напруг, індуктованих кожною системою, результативна напруга у проводі зв'язку не буде перевищувати напруги, обумовленого впливом однієї системи «додатковий провід - рейки». Внаслідок цього вся норма небезпечної напруги, індукованої при плавці ожеледиці, може бути віднесена лише до індуктивного впливу системи «додатковий провід – рейки».

За умовами індуктивного впливу лінії зв'язку при  $E=[U_B]$  величина струму плавки ожеледиці має бути обмежена наступним співвідношенням:

$$I_{пл} \leq \frac{U_B}{z_{КА} \cdot r_P \cdot r_{Об} \cdot l_A} \quad (1.8.)$$

Тут  $l_A$  - Довжина зближення дроту лінії зв'язку, км.

Розрахунки, проведені за цією формулою, показують, що в найбільш важких умовах (при екрануючій дії рейок одноколіїної ділянки, малої провідності землі, що дорівнює  $1 \cdot 10^{-3}$  сім/м, і розміщення кабелю зв'язку в 10 м від осі шляху) для кабелів зв'язку зі спеціальною захисною оболонкою при  $l_A = 50$  км величини струмів плавки ожеледиці, можуть бути допущені за умов небезпечного індуктивного впливу на лінії зв'язку.

На електрифікованих залізницях постійного струму боротьба з ожеледицею на ЛЕП автоблокування та лініях поздовжнього енергопостачання, як впливає з розгляду рекомендованих вище схем, здійснюється або випрямленим струмом, або змінним трифазним струмом без використання землі в якості зворотного проводу. Тому рекомендовані схеми боротьби з ожеледицею не створюють небезпечних впливів у повітряних лініях зв'язку, що застосовуються зазвичай на зазначених ділянках. Ці схеми не впливають і на пристрої СЦБ, які працюють на цих ділянках з сигнальним струмом часто 50 Гц. Слід підкреслити, що умовам небезпечного індуктивного



впливу на повітряні лінії зв'язку та влаштування СЦБ на ділянках залізниць постійного струму застосування схем боротьби з ожеледицею змінним струмом з використанням землі в якості зворотного проводу неприпустимо.

Зазначені вимоги щодо індуктивного небезпечного впливу враховані також при розробці схем, рекомендованих вище, для боротьби з ожеледицею на проводах контактної мережі.

Для оцінки допустимості короткочасного і досить рідкісного заважає індуктивного впливу на повітряні лінії зв'язку при використанні електричних способів боротьби з ожеледицею слід керуватися підвищеними нормами перешкод, що відносяться до усунених не більше ніж через 2 години режимів експлуатації високовольтних мереж з порушенням їх нормального стану (наприклад до режиму роботи ЛЕП автоблокування із заземленою фазою). Як відомо, для таких режимів роботи норма заважає напруги в 3 рази вище, ніж при нормальній роботі високовольтні мереж.



## 2 ЕЛЕКТРИЧНІ СПОСОБИ БОРотьБИ З ОЖЕЛЕДИЦЕЮ НА ПРОВОДАХ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ЛІНІЙ АВТОБЛОКУВАННЯ ТА ПОЗДОВЖНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

2.1 Основні положення щодо здійснення плавки ожеледиці та профілактичного підігріву проводів високовольтних ліній автоблокування та поздовжнього електропостачання

Розподіл КЗ за видами залежить від типу ізоляції та конструкції елементів мережі (рис. 2.1). Для ЛЕП напругою 35–750 кВ однофазні КЗ та ОЗЗ становлять приблизно 65 %, двофазні та подвійні замикання на землю – 20 %, двофазні без землі – 10 %, трифазні – 5 %. З цих даних випливає, що приблизно 85% від усіх замикань пов'язане із землею [11, 13]. Трифазні КЗ на практиці відбуваються дуже рідко. Як правило, трифазні КЗ виникають через помилки оперативного персоналу: відключення роз'єднувача під навантаженням, подача напруги на заземлене обладнання [18].

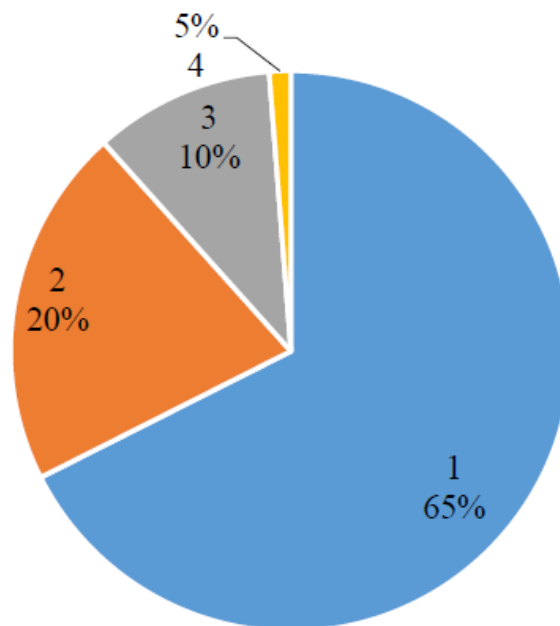


Рисунок 2.1 – Розподіл КЗ за видами:

- 1 – однофазні КЗ та ОЗЗ; 2 - двофазні та подвійні замикання на землю;  
3 – двофазні без землі; 4 – трифазні



Обриви проводів ЛЕП у більшості випадків виявляються після відключення КЗ на лінії, але на практиці трапляються обриви без виникнення КЗ.

Плавка ожеледиці та профілактичний підігрів проводів високовольтних ліній є основним способом забезпечення нормальної експлуатації їх в умовах випадання ожеледиць відкладень у поєднанні з сильними вітрами, а також танці проводів.

Відкладення ожеледиці на проводах ПЛ у поєднанні з сильними вітрами може викликати:

- а) розрегулювання проводів та зближення їх між собою;
- б) інтенсивні коливання, що супроводжується замиканнями між проводами, їх опіками, а також пошкодженнями лінійної арматури та кріплень;
- в) механічне навантаження проводів та їх обриви, особливо за наявності опіків електричною дугою;
- г) перевантаження та руйнування траверс та кронштейнів;
- д) перевантаження і руйнування опор при поєднанні ожеледь відкладень з сильним вітром, а також при обривах проводів, що супроводжуються виникненням невірноважених навантажень на опори від проводів, що залишилися цілими.

Для ефективної боротьби з ожеледь відкладеннями на проводах ПЛ важливе своєчасне виявлення їх і недопущення їх зростання вище розрахункових значень.

З настанням періоду можливого випадання ожеледь відкладень необхідно організувати своєчасне отримання та аналіз метеорологічних зведень, а також постійну службу метеопостів у найбільш небезпечних в ожеледиці місцях.

Схеми плавки ожеледиці та профілактичного підігріву повинні забезпечувати максимальну простоту, механізацію та автоматизацію процесу їх складання.



При підготовці пристроїв плавки ожеледиці та профілактичного підігріву слід враховувати дотримання наступних експлуатаційних вимог:

а) наявність оперативних інструкцій зі складання схем плавки та профілактичного підігріву, проведення плавки та розбирання схем; проведення тренувань персоналу зі збирання схем з доведенням часу збирання до мінімального (не більше 30 хв);

б) підготовка до роботи та випробування пристроїв плавки та профілактичного підігріву перед початком ожеледь. Перевірка схем плавки ожеледиці або підігріву повинна проводитись після закінчення монтажу та проведення всіх підготовчих робіт. Під час перевірки контролюються величина струму, наведеної напруги тощо. Опробування схем доцільно проводити у "вікно" для того, щоб виявити і ліквідувати вузькі місця без шкоди для руху поїздів;

в) відсутність обривів дротів у проводах, відсутність дефектних стикувань проводів, особливо в лініях, де передбачається плавка ожеледиці великими струмами;

г) своєчасне початок плавки або профілактичного підігріву - при досягненні розрахункових значень ожеледно-морозових відкладень; запізнiла плавка може призводити до аварій лінії - перепалів проводів струмом плавки внаслідок появи опіків при замиканні між проводами;

д) при необхідності здійснення плавки ожеледиці на кількох лініях, що відходять від одного пункту харчування, для своєчасного завершення її необхідно починати при відкладах, менших розрахункових.

На ділянках, де ДПР або ПЛ поздовжнього енергопостачання використовуються як хвилевод для поїздного радіозв'язку, слід перевірити можливість пропуску струму плавки і, підігріву через високочастотні загороджувачі, включені в дроти на обходах тягових підстанцій.

Допустимий тривалий струм контуру СК-6 в режимі плавки або профілактичного підігріву проводів дорівнює 180 А. При великих навантаженнях повинні застосовуватися спеціальні контури.



При плавці ожеледиці або профілактичному підігріві проводів змінним струмом в магістральних кабелях зв'язку індуктується напруга, яке спільно з напругою, індуктований тяговою мережею, може перевищити допустиму норму. Тому під час плавки слід контролювати величину індуктованої напруги. У разі перевищення норми слід переривати плавку, або обмежувати тягове навантаження.

На ділянках, де є низьковольтні лінії, підвішені паралельно ПЛ, можливість плавки ожеледиці повинна встановлюватися в кожному конкретному випадку в залежності від довжини низьковольтної лінії, відстані від ПЛ і т.д.

Вивідні кабелі, кабельні вставки, а також встановлені на лінії запобіжники повинні допускати тривале навантаження струмом плавки або профілактичного підігріву при необхідності з урахуванням навантаження споживачів. Перевірка на нагрівання повинна проводитись відповідно до глави 1-5 ПУЕ з урахуванням фактичної температури середовища.

При проектуванні пристроїв плавки ожеледиці для кожної лінії повинні бути складені таблиці часу плавки залежно від погодних умов та товщини ожеледиць. Для забезпечення повного відпадання відкладення по всій довжині лінії плавку слід продовжувати 5-10 хвилин понад розрахунковий час.

Плавку ожеледиці або зморозі та профілактичний підігрів слід забезпечувати джерелами живлення, у ожеледичий сезон завжди готовими у роботі.

При розташуванні над проводами ПЛ проводів інших ПЛ, щоб уникнути небезпечного зближення проводів, плавка ожеледиці або поморозі на нижній ПЛ повинна проводитися після плавки на проводах верхньої ПЛ. Порядок плавки на обох лініях встановлюється місцевою інструкцією з урахуванням фактичних відстаней проводами ПЛ, що перетинаються, а також приналежності ПЛ.

Під час плавки ожеледиці силові трансформатори автотрансформатори допускають перевантаження відповідно до ГОСТу 11677-75. Можливість



додаткового навантаження трансформаторів понад передбачену ГОСТом повинна бути узгоджена із заводом-виробником.

При плавці ожеледиці або паморозі допускається перевантаження на 50% трансформаторів струму, контактів вимикачів роз'єднувачів (інформаційне повідомлення інституту "Енергомережапроект" № 25/59 від 50.05.67).

При плавці за способом однофазного та двофазного короткого замикання на землю, а також за схемою "змійка", від трансформаторів, що не мають глухого заземлення нейтралі, необхідно на час плавки передбачити таке заземлення.

У режимі плавки виводяться з дії всі захисту, передбачені для експлуатаційного (нормального) режиму роботи лінії. Для захисту лінії, на якій проводиться плавка, слід передбачати спеціальні комплекти захисту.

При проектуванні захисту слід враховувати можливе використання існуючих захистів для відключення обладнання, що живить схему плавки ожеледиці.

При плавці за способом трифазного короткого замикання слід передбачати захисний пристрій, що реагує на несиметричні види коротких замикань і на трифазні короткі замикання - струмовий захист, що реагує на струми зворотної послідовності, і струмове реле в одній з фаз.

У разі пофазної плавки (за способом однофазного або двофазного короткого замикання) як захист слід передбачати встановлення в кожній фазі додаткових струмових реле відбудованих від струму плавки.

## 2.2 Розрахункові струми та час плавки

Для запобігання ожеледиці при температурі повітря біля 0 °С і помірних вітрах слід передбачати профілактичний підігрів проводів ПЛ. При несприятливих метеорологічних умовах профілактичний підігрів проводів вимагає великих струмів, близьких до струмів плавки, і стає недоцільним.



Профілактичний підігрів проводів слід застосовувати на ПЛ, де шляхом перерозподілу навантажень можна отримати робочі струми, що перешкоджають утворенню ожеледиці. Підвищення струмових навантажень досягається відключенням паралельних ліній, перекладом додаткових споживачів на живлення від лінії, що підігрівається і т.д.

При профілактичному підігріві проводів від самостійного джерела струм слід вибирати можливо близьким до мінімального, так як при цьому зменшується можливість пошкоджень, знижується витрата електроенергії та необхідна потужність обладнання.

Потужність обладнання для плавки ожеледиці або профілактичного підігріву слід розраховувати з умови одночасного підігріву проводів на суміжних зонах.

Мінімальний струм профілактичного підігріву слід визначати з умови, щоб температура дроту за даних метеорологічних умов становила  $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , за формулами:

$$I_{\text{нд}}^2 \cdot R_{\text{іл}} = 0.0314 \cdot d \cdot \left[ 2 \cdot E_{\text{л}} \cdot (1 + 0.01 \cdot t_2) + 5.1 \cdot \left( \frac{1}{d} \right)^{0.25} \right] \cdot (t_1 - t_2)^{1.3} \quad (2.1.)$$

$$I_{\text{нд}}^2 \cdot R_{\text{іл}} = \left[ 7.24 \cdot \left( \frac{318 + 0.5 \cdot t_2}{1000} \right)^3 \cdot E_{\text{л}} \cdot d + 1.1 \cdot \sqrt{v \cdot d} \right] \cdot (t_1 - t_2) \quad (2.2.)$$

У цих формулах:

$I_{\text{нд}}$  -- ток профілактичного підігріву. А;

$R_{\text{і}}$  – активний опір 1 м дроту при температурі  $t_1$ , Ом;

$d$  – діаметр дроту, см;

$E_{\text{л}}$  - постійна променевипускання проводу, що дорівнює 0,6 для проводів, що мають мідну або алюмінієву зовнішню поверхню, і 0,5 для сталевих проводів;

$t_1$  - температура дроту,  $^{\circ}\text{C}$ , що приймається рівною  $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

$t_2$  - температура повітря,  $^{\circ}\text{C}$ ;



$V$  – швидкість вітру, м/с.

Перша формула застосовується за швидкості вітру менше 2 м/с, друга - при вітрі понад 2 м/с. Формули враховують енергію, що витрачається на тепловіддачу у навколишнє середовище.

Для успішної плавки ожеледиці слід застосовувати можливі великі струми, що забезпечують скидання відкладень не більше, ніж протягом 60 хвилин. У цьому випадку вдається швидко завершити плавку і відновити нормальну схему роботи ПЛ при мінімальних витратах електроенергії на плавку.

При підігріванні ПЛ без перерви живлення споживачів, що мають значне навантаження, при визначенні струму слід враховувати також струм робочого навантаження. При визначенні струму підігріву слід враховувати ступінь корозії проводів.

Режим плавки (струм і час) слід вибирати за ділянкою ПЛ з найбільшими ожеледисто-морозевими відкладеннями. Тому плавка буде продовжуватися, коли на ділянках ПЛ з меншими відкладеннями вона вже закінчиться, і дроти інтенсивно нагріватимуться. Те саме відбуватиметься на ділянках ПЛ, де ожеледиця або паморозь взагалі не утворилися, а також на ділянках з гіршими умовами охолодження проводів.

Допустиму температуру проводів слід приймати, °С:

|                                     |      |
|-------------------------------------|------|
| Для алюмінієвих та сталеалюмінієвих | 80;  |
| для сталемідних                     | 120; |
| для сталевих                        | 60.  |

Температуру повітря і швидкість вітру слід приймати за спостереженнями метеорологічних станцій або власних на ділянках, де ожеледиця не утворювалася або має незначні розміри. За відсутності даних про швидкість вітру величину її можна приймати рівною половині спостерігається на найбільш ожеледному ділянці ПЛ.

Найбільший струм плавки слід визначати за формулами (2.1.) та (2.2.) при температурі  $t_1$ , що дорівнює допустимій для даного проводу. У таблиці 2



наведені найбільші струми плавки проводів, розраховані за викладеною методикою.

Розрахунковий час плавки слід визначати за такою формулою:

$$\tau = \frac{10 \cdot \gamma \cdot d \cdot b + \frac{0.045 \cdot \gamma \cdot D^2}{R_{T0} + R_{T1}} \cdot \left( R_{T1} + 0.22 \cdot \frac{R_{T0}}{\lg \frac{D}{d}} \right) \cdot (-t_2)}{\left| I_{\text{ПЛ}} R_{i0} - \frac{(-t_2)}{R_{T0} + R_{T1}} \right|} \quad (2.3.)$$

$I_{\text{П}}$  - струм плавки, А;

$R_{i0}$  - активний опір 1 м дроту за 0°C, Ом;

$\tau_4$ -час плавки, год;

$t_2$  – температура повітря, °С;

$\gamma$  - щільність ожеледиці або паморозі, г/см<sup>3</sup>;

$b$  - товщина стінки ожеледиці (сморозі), см;

$d$  – діаметр дроту, см;

$D$  - зовнішній діаметр дроту з ожеледицею (сморозу), см;

$R_{T0}$  - тепловий опір 1 м ожеледного циліндра при переході від внутрішньої до зовнішньої поверхні.

$$R_{T0} = \frac{\lg \frac{D}{d}}{273\lambda} \quad (2.4.)$$

$\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності; для льоду  $\lambda = 2,27 \cdot 10^{-2}$ , для паморозі  $\lambda = (2,1 + 42 \gamma < +216 \gamma^3) \cdot 10^{-4}$  Вт/див.°С;

$R_{T1}$ - тепловий опір при переході з 1м довжини зовнішньої поверхні покритого осадом дроту в повітря,

для ожеледиці

$$R_{T1} = \frac{1}{0.09D + 1.1\sqrt{VD}} \quad (2.5.)$$

для паморозі:



$$R_{T1} = \frac{1}{0.04D + 1.1\sqrt{VD}} \quad (2.6.)$$

Формула (2.1. і 2.2.) враховує енергію, необхідну для розплавлення ожеледиці, на тепловіддачу в навколишнє середовище і на нагрівання осаду до температури плавлення, маючи на увазі, що до включення струму плавки температура проводу та ожеледиці може бути близька до температурі повітря.

Допускається плавка ожеледиці на ПЛ, що мають по довжині дроту різних перетинів при цьому перерізи повинні відрізнятися не більше, ніж на один щабель (наприклад, АС-50 і АС-70). У цьому випадку струм плавки не повинен бути небезпечним для проведення меншого перерізу і достатнім для оплавлення ожеледиці на проводі більшого перерізу.

### 2.3 Схеми плавки ожеледиці (морози) та джерела живлення

При проектуванні пристроїв плавки слід забезпечувати швидке збирання схеми плавки: не застосовувати тимчасові перемички, використовуючи для цієї мети роз'єднувачі; забезпечувати надійний зв'язок між комутаційними пунктами схеми плавки і диспетчерським пунктом; використовувати автоматичні пристосування для включення та відключення елементів схеми.

Слід прагнути створювати схеми плавки з використанням наявних на пунктах живлення робочих напруг і джерел струму, не застосовуючи спеціальних трансформаторів.

Джерелами живлення схем плавки можуть бути збірні шини підстанцій, трансформатори і пересувні установки. У більшості випадків як джерела живлення використовуються силові трансформатори і шини підстанцій.

Необхідний струм плавки забезпечується шляхом підбору напруги джерела живлення, довжини лінії, що обігривається, і схеми плавки ожеледиці.

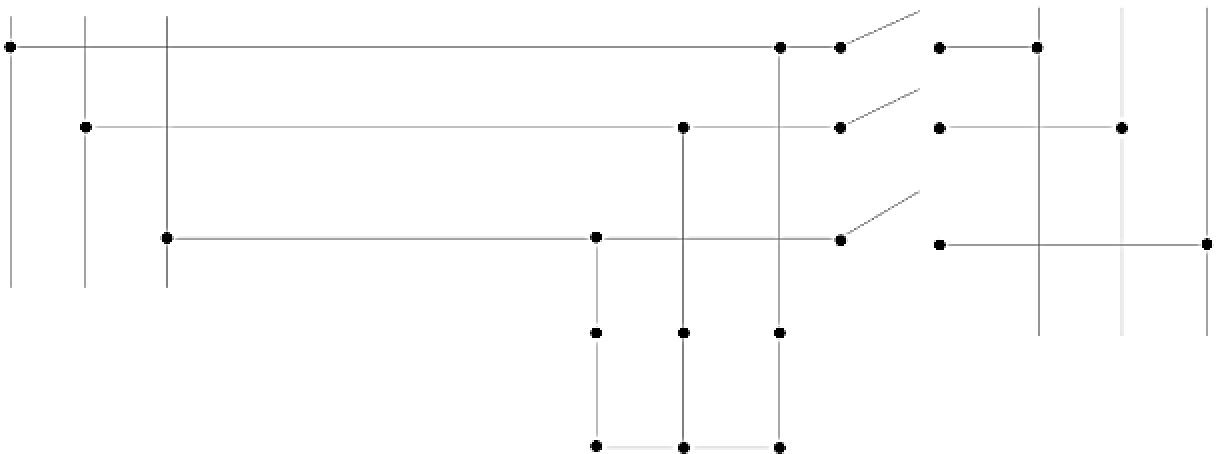


Більш широкі можливості регулювання струму плавки і довжини лінії забезпечуються виділення для плавки окремого трансформатора. В цьому випадку для трансформаторів, забезпечених пристроєм регулювання напруги під навантаженням, можливе регулювання напруги в межах  $\pm (12,5-15)\%$ .

Робочі струми ПЛ зазвичай недостатні для цілей плавки ожеlediці (морози). Тому для плавки необхідні спеціальні заходи щодо підвищення струмового навантаження ПЛ.

На лініях, які не можуть бути відключені для плавки ожеlediці, слід застосовувати спосіб перерозподілу навантаження. На лініях, які можуть бути відключені на час плавки, підвищення струмового навантаження досягається пристроєм коротких замикань за однією з наступних схем рис. 2.2.

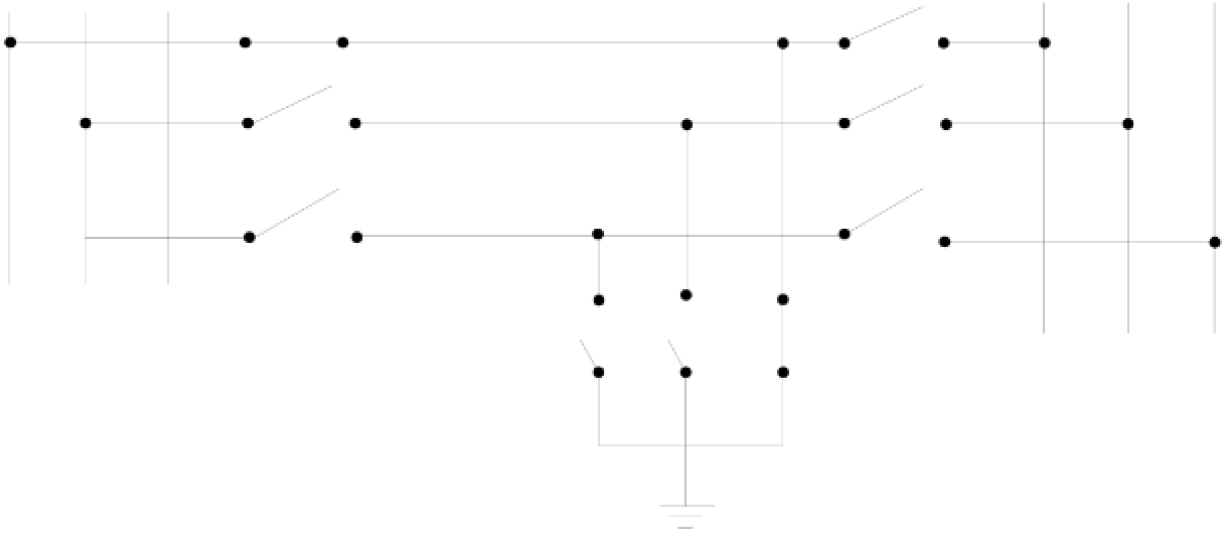
а) трифазне коротке замикання,



$$I_n = \frac{U_\lambda}{\sqrt{3} z_0 \ell} \quad (2.7.)$$

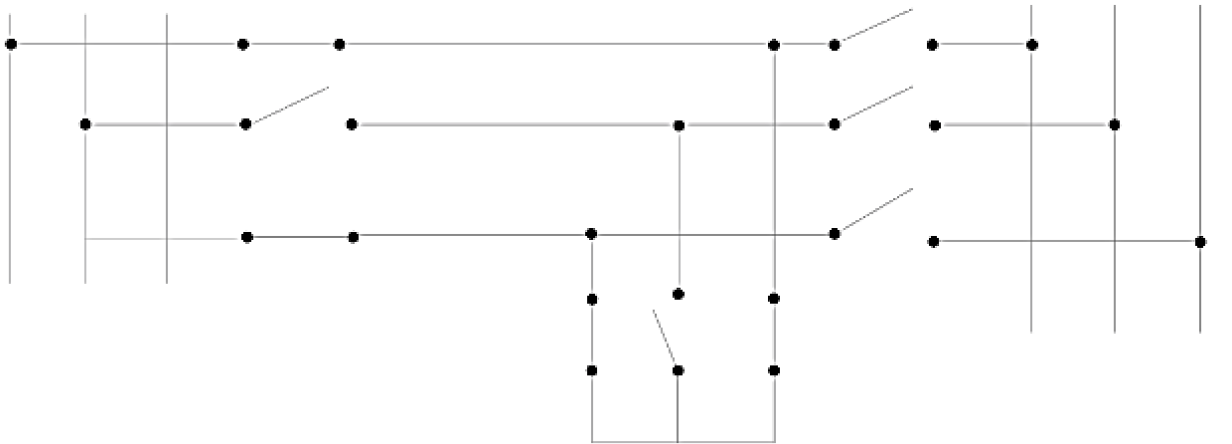
б) однофазне коротке замикання на землю





$$I_n = \frac{U_\lambda}{\sqrt{3}(Z_\Sigma \ell + 2R_\lambda)} \quad (2.8.)$$

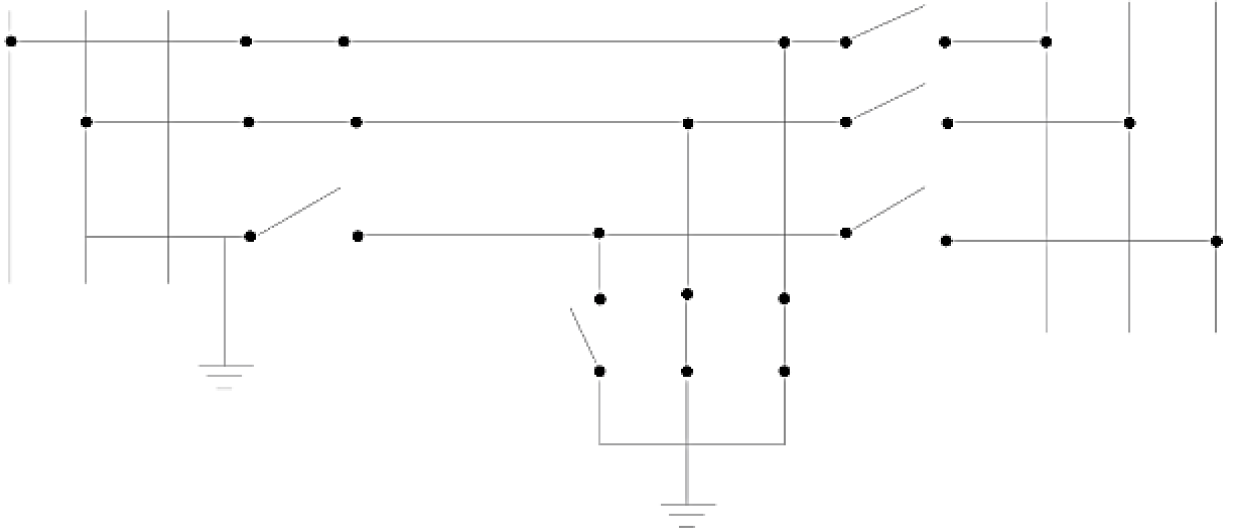
в) двофазне коротке замикання без землі,



$$I_n = \frac{U_\lambda}{2Z_\Sigma \ell} \quad (2.9.)$$

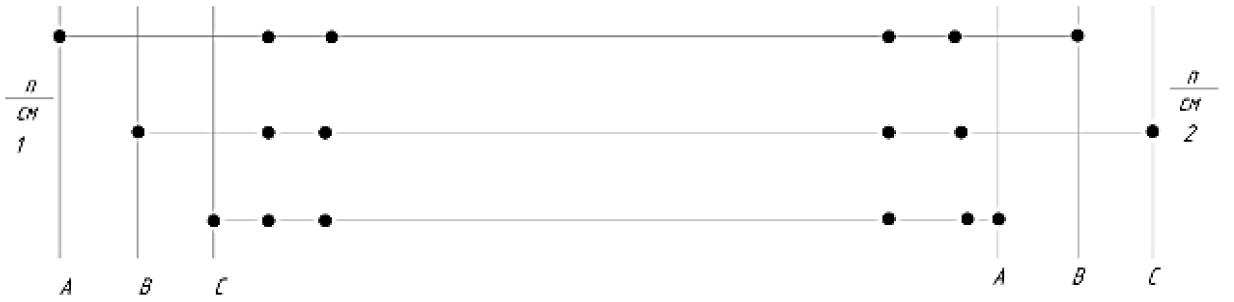
г) включення заземленої фази на лінійну напругу,





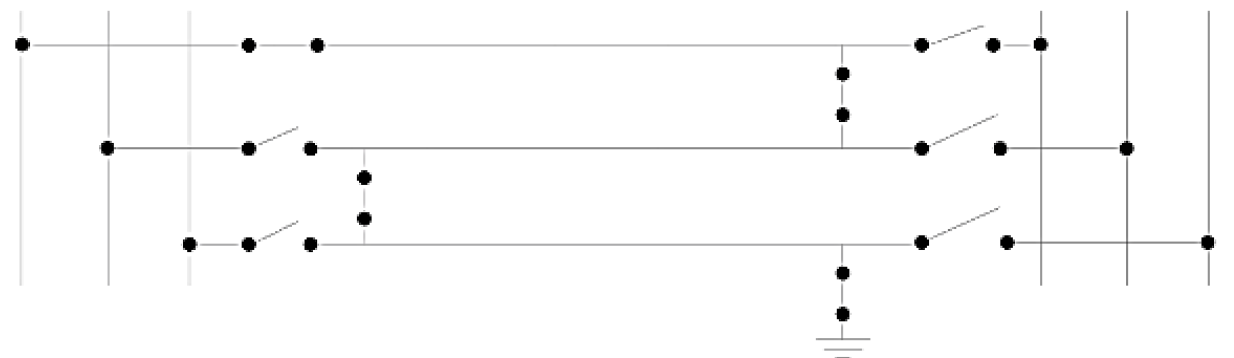
$$I_n = \frac{U_\lambda}{Z_\Sigma \ell + 2R_3} \quad (2.10.)$$

д) зустрічне включення фаз трансформаторів,



$$I_n = \frac{U_\lambda}{Z_0 \ell} \quad (2.11.)$$

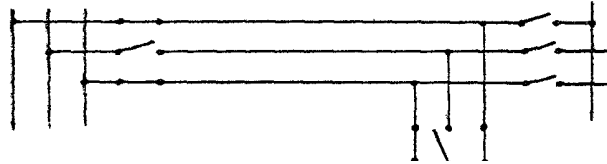
е) однофазне коротке замикання за способом "змійка",





$$I_n = \frac{U_n}{\sqrt{3}(3Z_0L - 2Z_{\Sigma}L + 2R_3)} \quad (2.12.)$$

ж) двофазне коротке замикання землі.



$$I_n = \frac{U_n(Z_0L + 2R_3) - \dot{U}_n(Z_{\Sigma}L + 2R_3)}{(Z_0L + 2R_3)^2 + (Z_{\Sigma}L + 2R_3)^2} \quad (2.13.)$$

Рисунок 2.2 – Пристрої коротких замикань

У формулах (2.7. - 2.13.):

$I_n$  - струм плавки, кА,

$U_n$  - лінійна напруга джерела живлення схеми, кВ,

$Z_0$  - питомий повний опір трифазної лінії, Ом/км,

$Z_{\Sigma}$  - питомий повний опір контуру плавки "дріт-земля", Ом/км,

$L$  - довжина ділянки плавки, км,

$R_3$  - опір заземлювального пристрою, Ом.

Наведені формули застосовуються, якщо напруга джерела живлення при включенні плавки залишається рівною номінальному. Якщо при включенні плавки ожеледиці не може підтримуватися номінальна напруга джерела живлення, то в формулах, замість величин  $z_0L$  і  $z_{\Sigma}L$  повинно враховуватися повне спрощення системи до шин нескінченної потужності.

Плавка ожеледиці за схемою трифазного короткого замикання проводиться одночасно на всіх трьох фазах, що значно скорочує час плавки. Цей спосіб найбільш простий і оперативний. Якщо опір лінії замало, можна послідовно з лінією включати додаткові ділянки, на яких плавка не потрібна.

Установка коротко проводиться як правило, на пунктах живлення спеціальними закорочують роз'єднувачами або заземлюючими ножами лінійних роз'єднувачів з посиленими контактами.

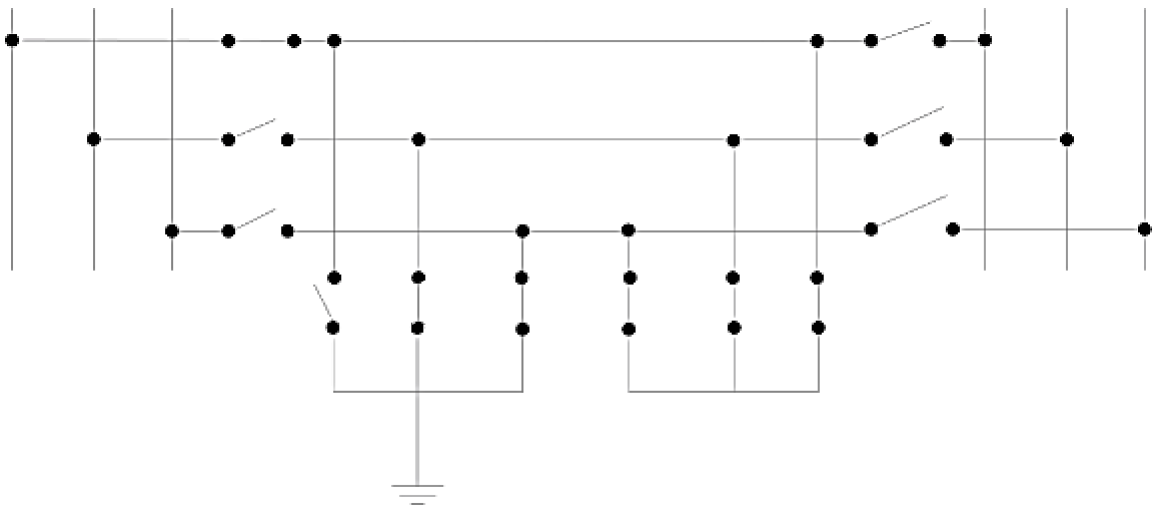
Плавка за схемою однофазного замикання на землю використовується при плавці на проводах ПЛ у вигляді винятку, коли не вистачає потужності для здійснення плавки за схемою трифазного короткого замикання і немає можливості застосування інших простих схем плавки змінним струмом.

Схема плавки способом однофазного замикання на землю створює в системі несиметричний режим; тому при її використанні необхідно перевірити обладнання на допустимість такого режиму.

Час плавки за цією схемою втричі більше, ніж за схемою трифазного короткого замикання, але потужність, приблизно, втричі менше.

Плавка за способом однофазного короткого замикання можлива також за схемами, показаними на рисунку 2.3.

а) при послідовному з'єднанні фази з двома іншими фазами



б) при послідовному з'єднанні фази з іншою фазою



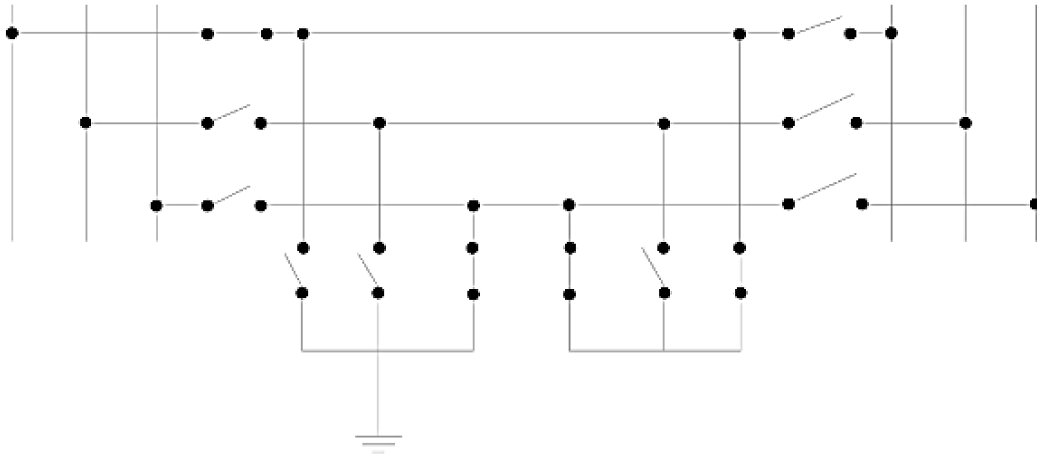


Рисунок 2.3 – Плавка за способом однофазного короткого замикання

У схемі однофазного короткого замикання способом "змійка" три фази з'єднані послідовно, а кінець лінії заземлений. Ця схема дозволяє плавити ожеледицю (сморожу) на всіх трьох фазах одночасно, що значно скорочує час плавки в порівнянні з пофазним обігрівом проводів, але вимагає більше операцій зі складання схеми, ніж за способом трифазного короткого замикання. Схема "змійка" може бути рекомендована для отримання необхідної величини струму плавки.

При сталевих дротах, коли напруга підстанції недостатньо для плавки по всій довжині ПЛ, може бути застосована схема однофазного короткого замикання (рис. 2.4).

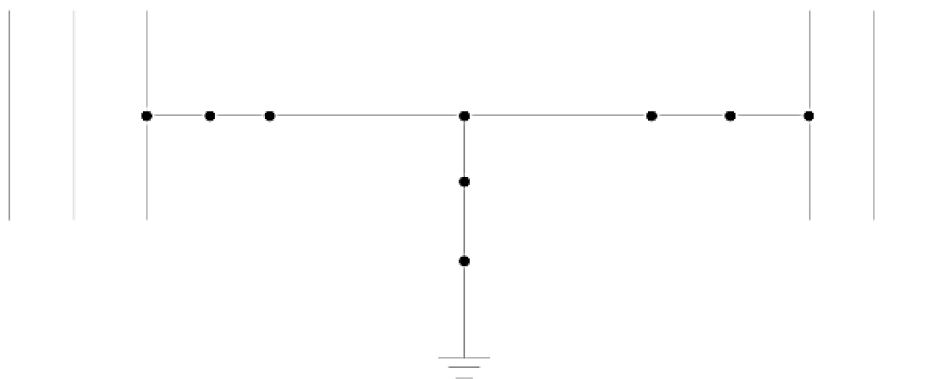


Рисунок 2.4 – Схема однофазного короткого замикання

Плавка проводиться з двох сторін, а провід заземляється в проміжній точці, що визначається розрахунком. При схемі двофазного короткого

замикання плавка складає двох фазах; після оплавлення ожеледиці на цих фазах проводиться плавка на третій фазі разом з однією з оплавлених фаз.

Плавка за цим способом вимагає вдвічі більшого часу порівняно зі способом трифазного короткого замикання, але в півтора рази менше, ніж при схемі однофазного короткого замикання. Плавка за цією схемою створює в системі несиметричний режим, тому при її використанні слід перевірити обладнання на допустимість такого режиму.

Схема плавки за способом зустрічного включення фаз трансформаторів застосовується для збільшення струму плавки або довжини лінії, що обігривається, коли фазова напруга трансформатора недостатньо для отримання необхідної величини струму плавки. При зустрічному включенні фаз трансформатори завантажуються повною потужністю однаково.

Завантаження активною та реактивною потужністю трансформаторів відбувається нерівномірно. Велика активна потужність посідає трансформатор, вектор напруги якого випереджає вектор напруги іншого трансформатора, а велика реактивна потужність посідає трансформатор з відстаючим вектором напруги. Підстанція з випереджаючим вектором напруги віддає активну потужність у лінію.

$$P_1 = UI \cos(\varphi - 30^\circ) \quad (2.14.)$$

та віддає або отримує реактивну потужність

$$Q_1 = UI \sin(\varphi - 30^\circ) \quad (2.15.)$$

Підстанція з відстаючим вектором напруги віддає або отримує активну потужність

$$P_2 = UI \cos(150^\circ - \varphi) \quad (2.16.)$$

та віддає реактивну потужність

$$Q_2 = UI \sin(150^\circ - \varphi) \quad (2.17.)$$



У цих формулах

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{x}{R_0 \cdot \text{°C}} \quad (2.18.)$$

Підстанція, що має резерви активної потужності, повинна підключатися до лінії з випереджаючим вектором напруги, а підстанція, що має резерви реактивної потужності - з вектором напруги, що відстає.

Плавка за способом зустрічного включення фаз трансформаторів може застосовуватися тільки для ліній, розташованих між підстанціями, що мають між собою інші надійні електричні зв'язки.

Складання і розбирання схеми плавки за способом зустрічного включення фаз може бути виконана швидко за умови установки спеціального роз'єднувача на одному з кінців лінії, що здійснює поворот напруги, що підводиться до неї, на  $120^\circ$ .

Плавка за схемою включення заземленої фази або двох заземлених фаз на лінійну напругу застосовується, коли напруга, яку має підстанція, недостатньо для плавки ожеледиці. При цьому нейтраль трансформатора повинна бути розземлена.

На лініях ДПР-27,5 кВ плавка може здійснюватися способом короткого замикання за схемою, показаною на рис. 2.5.

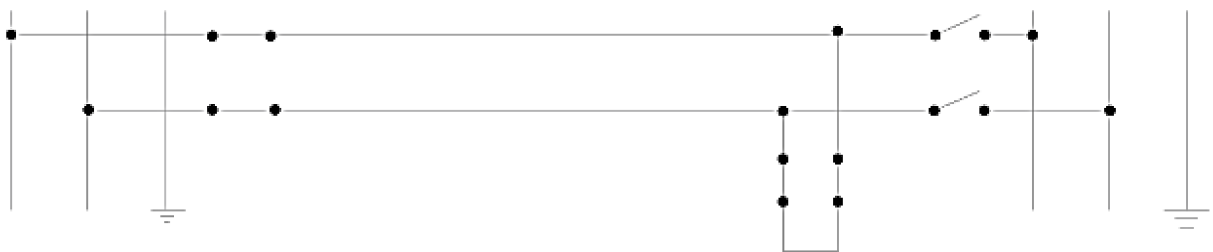


Рисунок 2.5 – Схема короткого замикання

Усі роз'єднувачі поздовжнього секціонування на ділянці плавки мають бути включені. На період плавки всі трифазні споживачі слід вимкнути; однофазні споживачі при даній схемі можуть отримувати харчування з урахуванням того, що напруга між кожним проводом лінії і рейкою

знижується не більше, ніж на 13% (без урахування падіння напруги від навантаження).

Струм плавки

$$I_n = \frac{U_n}{2Z_{cp}l} \quad (2.19.)$$

де  $U$ - лінійна напруга на шинах, кВ;

З урахуванням падіння напруги від тягового навантаження та навантаження струмом підігріву слід приймати

$$U_{п} = 0.9 \cdot U_{н} \quad (2.20)$$

$Z_{cp}$  - середнє опір проводу, Ом/км, що визначається за таблицею.

Струм плавки істотно збільшує навантаження тягового трансформатора, тому підстанціях, де трансформатори сильно навантажені, при плавці необхідно включати їх на паралельну роботу.

У деяких випадках плавка на лініях ДПР може бути здійснена без перерви живлення трифазних та однофазних споживачів за двостороннього різнофазного включення проводів лінії за схемою рис. 2.6.

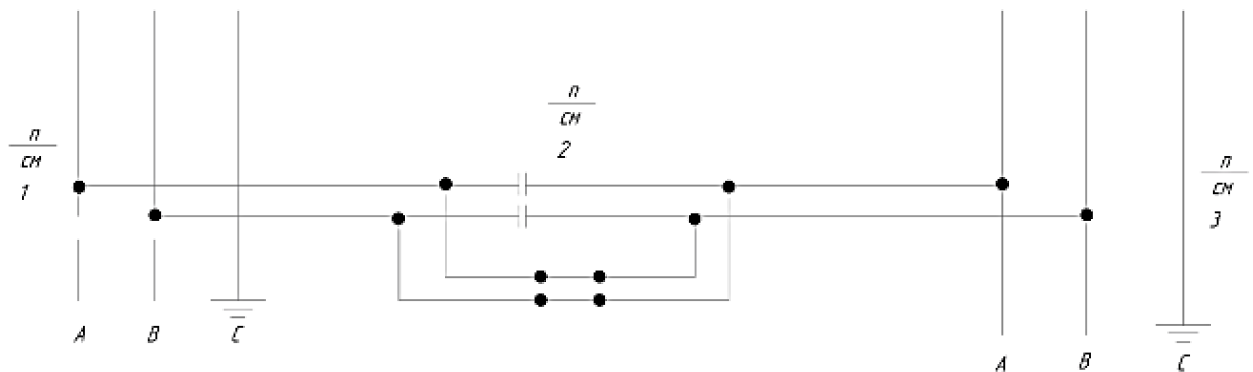


Рисунок 2.6 – Схема двостороннього різнофазного включення проводів лінії

Якщо дві сусідні підстанції, що живлять лінію ДПР, належать до різних типів по чергуванню, фаз у системі 25 кВ, при плавці можливе живлення трифазних і однофазних споживачів. Лінійна напруга знижується не більше, ніж на 13% у середині лінії (без урахування падіння напруги від



навантаження). Це зниження напруги частково може бути компенсовано шляхом підйому напруги на 5% на кінцях лінії.

Якщо дві сусідні підстанції належать до одного типу, то при плавці можливе живлення лише однофазних споживачів з таким самим зниженням напруги на 13%, трифазні споживачі повинні бути відключені.

Струм плавки при підстанціях різних типів:

$$I_{\text{л}} = \frac{0.87 \cdot U_{\text{л}}}{z_{\text{ср}} \cdot L} \quad (2.21.)$$

а при підстанціях одного типу:

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{л}}}{z_{\text{ср}} \cdot L} \quad (2.22.)$$

Тут лінійна напруга  $U_{\text{л}}$  з урахуванням падіння напруги від тягового навантаження та навантаження струмом підігріву слід приймати  $0,9 U_{\text{н}}$ ;

$Z_{\text{ср}}$  - середнє опір, Ом/км, по таблиці.

Вплив тягового навантаження на величину опору  $Z_{\text{ср}}$  при живленні від підстанцій одного типу незначно через незначність струму в рейках. При живленні лінії від підстанцій різних типів взаємоіндукція від тягового навантаження вплине на величину опору  $Z_{\text{ср}}$ , внаслідок чого струм підігріву буде змінюватися в залежності від фаз тягового навантаження і струму підігріву, їх величин та інших факторів. Межі цих коливань слід визначити дослідним шляхом, а під час плавки постійно стежити за величиною струму.

Не рекомендується підігрів проводів ДПР за цією схемою на ділянках, де захист ліній зв'язку та інших комунікацій від небезпечного індуктивного впливу тягової мережі здійснено відсмоктуючими трансформаторами, тобто. там, де захисна дія оболонки кабелю недостатня.

На електрифікованих ділянках постійного струму плавка ожеледиці на ПЛ 6 -10 кВ може бути здійснена від шин 3,5 кВ за схемою (рис. 2.7).

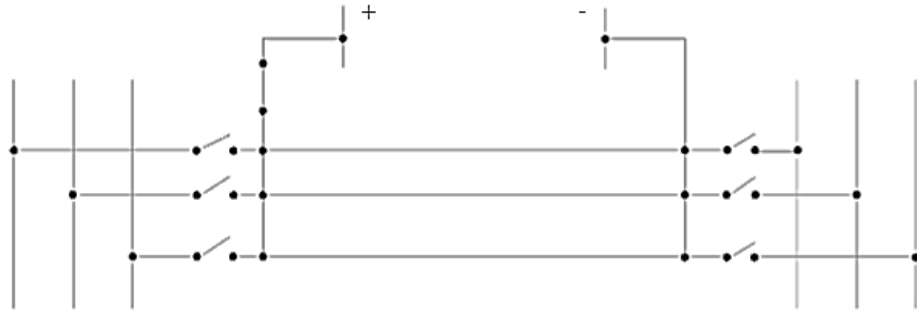


Рисунок 2.7 – Схема плавки ожеледиці на ПЛ 6 - 10 кВ від шин 3,5 кВ

Плавка проводиться на відключеній лінії одночасно на трьох проводах. Плавка на одному або двох проводах ПЛ автоблокування за цією схемою неприпустима, тому що при цьому можливий перепад лінійних трансформаторів ЗМ. При необхідності застосування цієї схеми в ланцюг первинних обмоток цих трансформаторів слід включити спеціальні розділові конденсатори, що запобігають протіканню по них постійного струму.

Струм плавки

$$I_d = \frac{U_d}{r \cdot L} \quad (2.23.)$$

де  $r$  - омичний опір одного дроту ПЛ, Ом/км;

$L$  – довжина зони плавки.

При надто великій довжині зони може бути застосована схема (рис. 2.8).

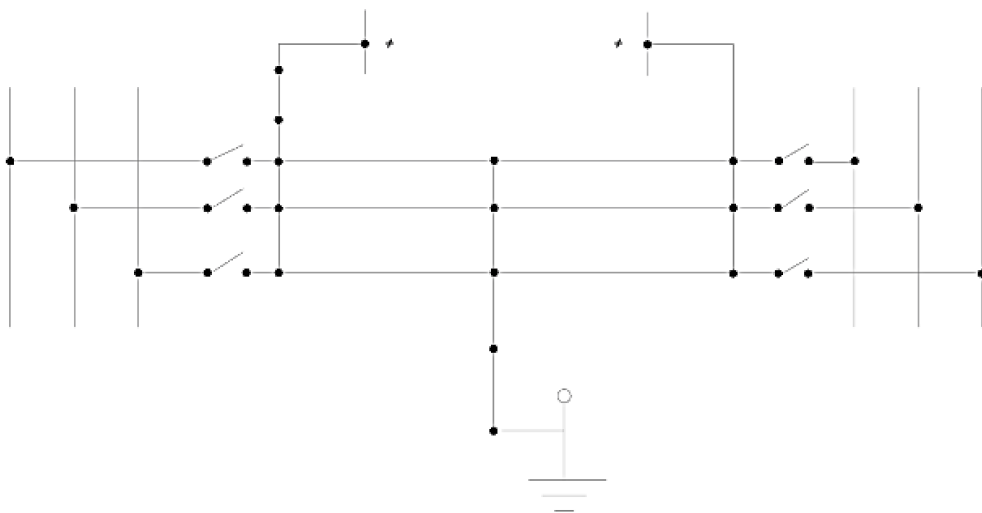


Рисунок 2.8 – Схема плавки при великій довжині



При недостатньому перерізі вступних кабелів ПЛ поздовжнього електропостачання подача постійної напруги 3.3 кВ може бути здійснена від живильних ліній контактної мережі.

На ділянках постійного струму може застосовуватися профілактичний підігрів проводів ПЛ постійним струмом без перерви живлення споживачів. У цьому випадку має застосовуватись спеціальне обладнання.

Індуктивний опір для трифазних ПЛ у таблицях дано, в залежності від середньої геометричної відстані між проводами  $D$ , що визначається як

$$D = D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{31} \quad (2.24.)$$

де  $D_{12}$ ,  $D_{23}$ ,  $D_{31}$  - відстані між кожною парою проводів ПЛ.

Для трифазних ПЛ, виконаних сталевими проводами, індуктивний опір  $X$  визначається підсумовуванням зовнішнього індуктивного опору  $X/$ , що визначається за таблицею 2.2 залежно від  $D$ , та внутрішнього індуктивного опору,  $X//$ , що визначається за таблицею в залежності від струму,  $X = X/ + X//$ .

Активний та омичний опір проводів дано при температурі  $+20^{\circ}\text{C}$ . Приведення цих опорів до розрахункової температури слід проводити з урахуванням наступних температурних коефіцієнтів опору,  $1/^{\circ}\text{C}$ :

|                               |         |
|-------------------------------|---------|
| для алюмінієвих дротів        | 0,0042, |
| для сталюалюмінієвих проводів | 0,0043, |
| для сталемідних дротів        | 0,0041, |
| для сталевих дротів           | 0,0062. |

Повний опір  $Z$  1 км ПЛ при змінному струмі визначається як

$$Z = \sqrt{r^2 + x^2} \quad (2.25.)$$

де  $r$  і  $x$  - активний та індуктивний опір дроту при частоті 50 Гц, Ом/км.

Таблиця 2.3 – Характеристики проводів, що застосовуються на ПЛ автоблокування та поздовжнього електропостачання залізниць

| Марка дроту   | Омічне напруження при +20°С ление | Індуктивний опір при середній геометричній відстані між проводами, мм |                |       |                                  |       |       |       |
|---------------|-----------------------------------|---|----------------|-------|----------------------------------|-------|-------|-------|
|               |                                   | 800   | 1000           | 1250  | 1500                             | 2000  | 2500  | 3000  |
| 1             | 2                                 | 3   | 4              | 5     | 6                                | 7     | 8     | 9     |
| А-120         | 0.246                             | 0.313   | 0.327          | 0.341 | 0.353                            | 0.371 | 0.383 | 0.396 |
| А-150         | 0.194                             | 0.306   | 0.320          | 0.334 | 0.345                            | 0.363 | 0.377 | 0.389 |
| А-185         | 0.157                             | 0.299   | 0.313          | 0,359 | 0,339                            | 0.357 | 0.371 | 0.382 |
| АС-25/4.2     | 1.146                             | 0.567   | 0.372          | 0.386 | 0,397                            | 0.415 | 0.429 | 0.441 |
| АС-35/6.2     | 0.773                             | 0.345   | 0.359          | 0.373 | 0.385                            | 0.405 | 0.417 | 0.428 |
| АС-50/8.0     | 0.392                             | 0.337   | 0.351          | 0.365 | 0.377                            | 0.393 | 0.409 | 0.420 |
| АС-70/11      | 0.420                             | 0.326   | 0.340          | 0.354 | 0.366                            | 0.384 | 0.398 | 0.409 |
| АС-95/16      | 0.299                             | 0.316   | 0.350          | 0.344 | 0,355                            | 0.373 | 0.387 | 0.399 |
| АС-95/15      | 0.314                             | 0.316   | 0.350          | 0.344 | 0.355                            | 0.375 | 0.387 | 0.399 |
| ПБСМ1--       | 1.752                             | 0.361   | 0.375          | 0,389 | 0.400                            | 0.418 | 0.432 | 0.444 |
| ПБСМ1--<br>35 | 1.382                             | 0.353   | 0.367<br>0,381 | 0.381 | 0.392<br>0,410<br>0,424<br>0,435 | 0.410 | 0.424 | 0.435 |

Таблиця 2.4 – Зовнішнє індуктивне опір ПЛ, виконаних сталевими проводами, Ом/км

| Марка дроту | Опір при середній геометричній відстані між проводами, ММ |       |       |       |       |
|-------------|---|-------|-------|-------|-------|
|             | 800   | 1000  | 1250  | 1500  | 2000  |
| ПСО-5       | 0.361   | 0.375 | 0.389 | 0.400 | -     |
| ПС-25       | 0.354   | 0.368 | 0.381 | 0.393 | 0.412 |
| ПС-35       | 0.333   | 0.347 | 0.361 | 0.372 | 0.391 |



Таблиця 2.5 – Активний і внутрішній індуктивний опір ПЛ, виконаних сталевими проводами, Ом/км

| Струм лінії, А | Активний опір ВЛ при +20 °С |       |       | Внутрішній індуктивний опір ВЛ |       |       |
|----------------|-----------------------------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|
|                | для дротів марок            |       |       |                                |       |       |
|                | ПСО-5                       | ПО-25 | ПС-35 | ПСО-5                          | ПС-25 | ПС-35 |
| I              | 2                           | 3     | 4     | 5                              | 6     | 7     |
| 0,5            | -                           | -     | -     | -                              | -     | -     |
| 1,0            | -                           | 5,25  | 3,66  | -                              | 0,54  | 0,35  |
| 1,5            | 7,90                        | 5,26  | 3,66  | 2,13                           | 0,55  | 0,34  |
| 2,0            | 8,35                        | 5,27  | 3,66  | 3,58                           | 0,55  | 0,33  |
| 3,0            | 9,5                         | 5,28  | 3,67  | 6,45                           | 0,56  | 0,36  |
| 4,0            | 10,8                        | 5,50  | 3,69  | 8,1                            | 0,59  | 0,37  |
| 5,0            | 12,3                        | 5,52  | 3,70  | 9,7                            | 0,65  | 0,40  |
| 6,0            | 13,8                        | 5,35  | 3,71  | 11,2                           | 0,67  | 0,42  |
| 7,0            | 15,0                        | 5,57  | 3,75  | 12,3                           | 0,70  | 0,45  |
| 8,0            | 15,4                        | 5,40  | 3,75  | 13,3                           | 0,77  | 0,48  |
| 9,0            | 15,2                        | 5,45  | 3,77  | 15,1                           | 0,84  | 0,51  |
| 10,0           | 14,6                        | 5,50  | 3,80  | 12,4                           | 0,95  | 0,55  |
| 15,0           | 15,6                        | 5,97  | 4,02  | 11,4                           | 1,33  | 0,75  |
| 20,0           | 12,7                        | 6,70  | 4,40  | 10,5                           | 1,65  | 1,04  |
| 25,0           | -                           | 6,97  | 4,89  | -                              | 1,91  | 1,52  |
| 30,0           | -                           | 7,10  | 5,21  | -                              | 2,01  | 1,56  |
| 35,0           | -                           | 7,10  | 5,36  | -                              | 2,06  | 1,66  |
| 40,0           | -                           | 7,02  | 5,35  | -                              | 2,09  | 1,69  |
| 45,0           | -                           | 6,92  | 5,30  | -                              | 2,08  | 1,71  |
| 50,0           | -                           | 6,85  | 5,25  | -                              | 2,07  | 1,72  |
| 60,0           | -                           | 6,70  | 5,13  | -                              | 2,00  | 1,70  |
| 70,0           | -                           | -     | 5,00  | -                              | -     | 1,64  |

На ділянках постійного струму застосовують схему плавки ожеледиці випрямленим струмом. Для цього ЛЕП автоблокування відключають, а живлення пристроїв автоблокування переводять на резервну лінію. Випрямлений струм безпосередньо від шин 3,3 кВ тягової підстанції проходить по всіх трьох проводах лінії автоблокування, з'єднаних паралельно. Наприкінці зони плавки дроту лінії з'єднують з мінусової шиною суміжної

підстанції або із середньою точкою колійного дроселя в середині міжпідстанційної зони.

Мінімальна  $L_{пл. min}$  та максимальна  $L_{пл. max}$  довжини зон, у межах яких у кожному дроті лінії забезпечується струм плавки ожеледиці без перегріву ділянок проводів, не покритих ожеледицею, визначається за формулами

$$L_{пл. min} = \frac{U_d}{k_t \cdot r \cdot I_{пл. max}} \quad (2.26.)$$

$$L_{пл. max} = \frac{U_d}{k_t \cdot r \cdot I_{пл. min}} \quad (2.27.)$$

$U_d$  - випрямлена напруга на шинах тягової живильної підстанції, В;

$r$  - погонний омичний опір дроту, Ом/км. Максимальне  $I_{пл. max}$  і мінімальне  $I_{пл. min}$  значення можливого струму плавки ожеледиці для відповідної марки проводів дано в таблиці.

Для здійснення цієї схеми на живильній тяговій підстанції А встановлюють роз'єднувач Р1 і приєднують його до запасної шини розподільного пристрою (РУ) 3,3 кВ. На запасну шину під час плавки ожеледиці подають випрямлену напругу шляхом включення шиноз'єднувального вимикача ШСВ.

Від роз'єднувача Р1 прокладають перемичку з дроту ПС-4000 відповідного перерізу до РУ-6 кВ (10 кВ) автоблокування. В обох осередках РУ автоблокування встановлюють на ізоляторах 4 розподільні шини 2 і закріплюють на них по три шунти 3. Далі встановлюють в осередках РУ автоблокування комплект реле для захисту ЗП проводів лінії та трансформаторів, підключених до неї, під час плавлення ожеледиці. У осередку запасного швидкодіючого вимикача монтують виконавчі реле цього захисту і прокладають до них необхідні контрольні кабелі. При складанні ланцюга плавки ожеледиці розподільні шини 2. Приєднують до знеструмлених шин в РУ автоблокування знімними перемичками 5, які встановлюють тільки на період плавки ожеледиці після відключення та заземлення відповідного



фідера. На сусідній тяговій підстанції Б виконують такий же ланцюг комутації, що і на підстанції А, але без включення шунтів і установки пристроїв захисту ЗП, і роз'єднувач Р2 приєднують до мінусової шини для можливості з'єднання з нею проводів лінії Щоб уникнути перегріву високовольних обмоток трансформаторів. напруги випрямленим струмом, що відгалужується в них при плавці ожеледиці, слід на обох підстанціях А і Б відключити нульові точки цих трансформаторів від землі. Якщо відстань між сусідніми тяговими підстанціями велика, то плавку ожеледиці можна здійснювати за іншою схемою, що передбачає з'єднання всіх проводів відключеної лінії з рейковою мережею в середині між тяговими підстанціями. Найбільш зручно при цьому заземлення проводів проводити поблизу посту секціонування. Заземлюючий трифазний роз'єднувач при цьому може бути змонтований на спеціальній опорі, а провід, що йде від нього до рейок, повинен бути приєднаний до середньої точки дорожнього дроселя. Подача струму у всі три проводи лінії при плавці ожеледиці за цією схемою проводиться одночасно з обох суміжних тягових підстанцій, причому комутація на них повинна бути виконана за схемою, показаною на рисунку для підстанції А. При розташуванні заземлюючого роз'єднувача посередині міжпідстанційної зони за іншою схемою повинна бути здійснена плавка ожеледиці, якщо відстань між тяговими підстанціями укладена в межах, що визначаються співвідношенням:

$$L_{\text{пл. min}} \leq \frac{L_{\text{п/ст}}}{2} \leq L_{\text{пл. max}} \quad (2.28.)$$

Якщо відстань між сусідніми тяговими підстанціями більше 16 км, то плавку ожеледиці слід проводити за іншою схемою. Зі співвідношення слід, що в цьому випадку плавка ожеледиці може бути забезпечена при видаленні суміжних підстанцій на 15 - 32 км один від одного.

Плавку ожеледиці на проводах ЛЕП автоблокування можна вести одночасно з плавкою його на проводах контактної мережі. При цьому подача напруги в ланцюг плавки обох ліній може проводитися від однієї і тієї ж

тягової підстанції. Однак при петлевій схемі плавки ожеледиці на контактній мережі одночасна плавка на ЛЕП автоблокування неможлива.

Особливості ЛЕП автоблокування, що являє собою протяжний розподільний пристрій, викликають необхідність обладнати схему плавки ожеледи, що розглядається, захистом ЗП. Внаслідок того, що дроти лінії мають практично рівний опір, в нормальному режимі плавки ожеледиці в будь-якому перерізі її потенціал кожного дроту щодо землі однаковий. Тому напруга між проводами відсутня, і випрямлений струм плавки не відгалужується в обмотки лінійних трансформаторів, підключених до лінії. Це положення порушується під час обриву одного з проводів ЛЕП автоблокування або замикання його на землю, а також при замиканні проводів лінії між собою. У цих випадках між окремими проводами виникає значна напруга, яка викликає проходження випрямленого струму високовольтних обмотках лінійних трансформаторів. В результаті можливий неприпустимий перегрів трансформаторів і вихід їх з ладу. Крім того, при замиканні проводів лінії між собою або на землю в зоні плавки можливе їхнє перепалювання. У таких аварійних режимах захист ЗП відключає ланцюг плавки ожеледиці, впливаючи на ланцюги управління швидкодіючим вимикачем ШСВ. Принципова схема захисту ЗП, розроблена ПКБ ЦЕ, представлена на рисунку 2.9.

Підключені до шунтів 3 реле  $P_1$ ,  $P_2$  і  $P_3$ , спрацьовують у тих випадках, коли величина струму в будь-якому дроті лінії перевищує максимально допустиму величину при плавленні ожеледиці. Реле  $P_1$ ,  $P_2$  і  $P_3$  включені диференціально і спрацюють при порушенні рівності струмів в окремих проводах лінії, що виникає у разі обриву проводів або їх замиканні між собою і на землю.

Вплив зазначених реле на ланцюга управління вимикачем ШСВ може бути виконано за двома варіантами. Якщо котушки ШСВ мають ізоляцію, виконану на напругу 4 кВ, то може бути застосований варіант рис.2.9. б. У тих випадках, коли котушка не має такої ізоляції, повинен бути використаний ізолюючий трансформатор (рис. 2.9., в).



Застосування розглянутої схеми за відсутності резервної ЛЕП викликає необхідність припинення електропостачання пристроїв СЦБ на період плавлення ожеледиці. Експлуатаційні випробування схеми, проведені на Наддніпрянській дорозі, працівниками якої вона запропонована, підтвердили її ефективність.

Схема накладання випрямленого струму через дроселі (рис. 2.9) дозволяє здійснювати профілактичний підігрів проводів ЛЕП автоблокування з напругою 6 і 10 кВ без припинення нормального електропостачання підключених до неї споживачів. У ній використовується спосіб одночасної передачі електричної енергії змінним і постійним струмом по одній лінії. Схема запропонована і вперше здійснена працівниками Південної та Донецької залізниць. За цією схемою підігрів проводів проводиться випрямленим струмом від виділеного спеціально для цієї мети випрямного агрегату тягової підстанції постійного струму. Струм підігріву від цього агрегату подається у всі три дроти ліній через нульову точку спеціального трифазного дроселя, що встановлюється на початку зони боротьби з ожеледицею. Підключення дроселя на тяговій підстанції слід проводити таким чином, щоб трансформатори струму фідера СЦБ не входили в ланцюг нагрівання проводів (див. рис.2.10.), щоб уникнути насичення їх сердечників постійним магнітним потоком, що може призвести до порушення роботи захисту фідера автоблокування та його вимірювальних кіл. Такий же дросель включений наприкінці цієї зони і служить для з'єднання проводів ЛЕП автоблокування з контуром заземлення сусідньої підстанції.

Для того щоб повністю виключити можливість відгалуження струму 50 Гц з ЛЕП в рейкові ланцюги автоблокування, що працюють на сигнальному струмі з частотою 50 Гц, в рис. 2.9. як зворотний дроти при схемі слід використовувати тільки землю.

Використання тягових рейок для цієї мети за умовами безпеки руху поїздів є неприпустимим. Щоб уникнути гальванічного зв'язку проводів з рейками нульові точки живильного випрямного агрегату і дроселя слід

заземлювати на контур заземлення тягової підстанції. Щоб не допустити нагрівання ґрунту, прилеглого до контуру заземлення, що може призвести до різкого підвищення опору струму розтікання, струм підігріву в кожному дроті не повинен перевищувати величини, що визначається за формулою:

$$I_n \leq \frac{100}{3R_3} \quad (2.29.)$$

де  $R_3$  - опір розтіканню контуру заземлення. Для контурів заземлення тягових підстанцій згідно з ПУЕ величина  $R_3$  не повинна перевищувати 0,5 Ом.

Найбільша та найменша довжини зон протиожеледного нагріву проводів можуть бути визначені за співвідношеннями і якщо в них замінити струми плавки відповідно струмами підігріву. Розрахунки за цими формулами показують, що для ЛЕП, виконаних проводом ПСО-5, як на більшості електрифікованих ділянок, за схемою вказаною на рисунку може бути здійснений протиожеледний підігрів на відстані між тяговими підстанціями від 13 до 20 км. Найбільш важливими елементами схеми є дроселі. Для того щоб вони володіли високим опором змінного трифазного струму і одночасно можливо меншим опором постійному струму, їх обмотки повинні бути з'єднані в зигзаг (рисунок нижче). Розглянемо принцип дії трифазного дроселя зі сталевим сердечником, обмотки якого включені в зигзаг. На рисунку видно, що обмотка кожної фази дроселя розділена на дві рівні частини. На кожному стрижні сердечника дроселя розміщені по дві такі половини обмотки, що належать різним фазам, причому початок однієї напівобмотки з'єднаний з початком фугою. Використовуючи принцип суперпозиції, спочатку розглянемо утворення магнітного потоку в кожному стрижні сердечника, викликане протіканням по обмотках дроселя постійного струму боротьби з ожеледицею. Припустимо, що величини постійного струму в приводах А, В і С фаз автоблокування відповідно становлять  $I_1$ ,  $I_2$  і  $I_3$  (рис.2.9., а). Загальний постійний струм  $I_0$ , що проходить через нульову точку дроселя, дорівнює арифметичній сумі трьох цих струмів  $I_1$ ,  $I_2$  і  $I_3$ . На стрижні І дроселя насаджені половини обмоток фаз А і С, по них проходять струми  $I_1$  і  $I_3$ , кожен з яких



викликає в стрижні I відповідний постійний магнітний потік, пропорційний величині струму. Зважаючи на те, що початку напівобмоток фаз A і C, розташованих на стрижні I, з'єднані зустрічно між собою, магнітний потік  $\Phi_1$ , утворений в стрижні I струмом  $I_1$ , протилежний магнітному потоку  $\Phi_3$ , викликаному в тому ж стрижні струмом  $I_3$ . Отже, постійний магнітний потік, обумовлений одночасним дією струмів  $I_1$  і  $I_3$ , пропорційний різниці цих струмів  $I_1 - I_3$ . Аналогічний процес компенсації постійного магнітного потоку відбувається в інших стрижнях II і III серцевого дроселя. У тому випадку, коли струми у проводах лінії однакові, настає повна взаємна компенсація постійних магнітних потоків у всіх стрижнях.

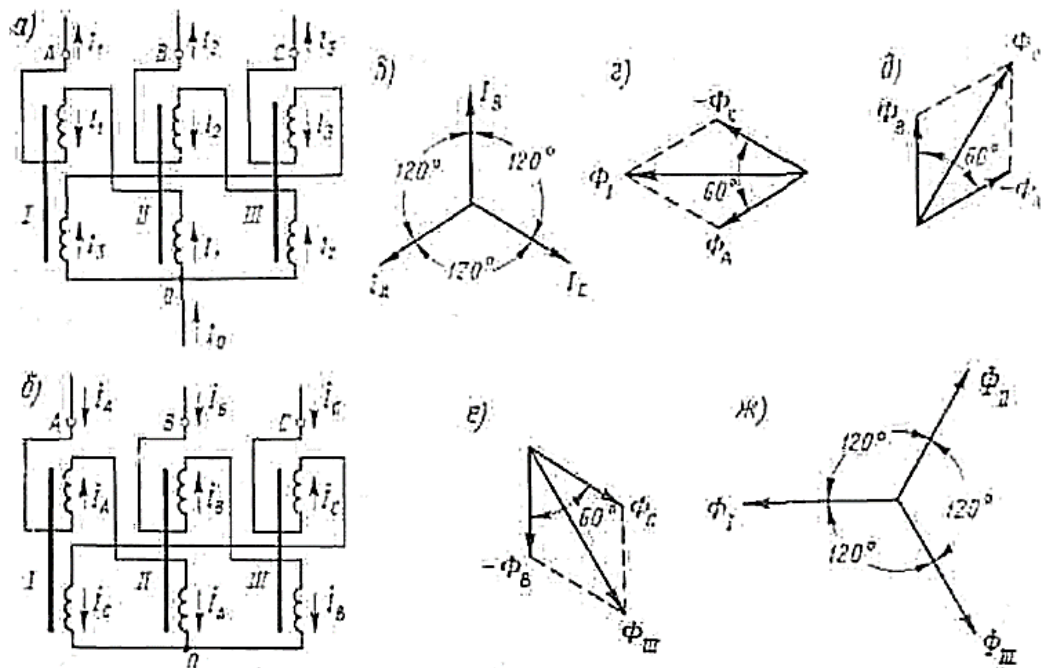


Рисунок 2.9 – Схеми (а і б) з'єднання обмоток дроселя та векторні діаграми його струмів та магнітних потоків

Внаслідок того, що зазвичай відмінність омичного опору окремих проводів лінії невелике, при розглянутій конструкції дроселя не відбувається насичення сердечника від проходження по його обмотках постійного струму значної величини, що забезпечує боротьбу з ожеледицею.

Утворення магнітного потоку в сердечнику трифазного дроселя, обумовлене проходженням по його обмотках трифазного змінного струму, викликаного робочою напругою ЛЕП, може бути виявлено при розгляді рис. 2.9, б. Прийmemo, що під дією робочої напруги у фазах А, В і С дроселя виникають змінні струми відповідно рівні  $I_A$ ,  $I_B$  і  $I_C$ .

Як видно з векторної діаграми рисунок, кут між цими струмами становить  $120^\circ$  ел. Величини фазових струмів близькі, тому що відмінність робочої напруги між проводами лінії невелика, а обмотки фаз дроселя мають практично однаковий опір змінному струму. При проходженні кожної напівобмотці фази дроселя змінного струму в стрижні сердечника виникає змінний магнітний потік, пропорційний величині цього струму і близький до них по фазовому кутку. Внаслідок того, що на стрижні I дроселя розміщені дві зустрічно включені напівобмотки, по яких проходять струми фаз А і С, результуючий змінний магнітний потік  $\Phi_1$  в стрижні I, викликаний спільною дією струмів  $I_A$  і  $I_C$ , визначиться як векторна сума магнітних потоків  $\Phi_A - \Phi_C$  (рис. 2.9, г). Аналогічним чином формуються змінні магнітні потоки  $\Phi_2$  і  $\Phi_3$  в стрижнях II і III (рис. 2.9). У результаті цього в сердечнику дроселя під впливом робочої напруги ЛЕП утворюється трифазний змінний магнітний потік (рис. 2.9, ж). Внаслідок цього дросель має дуже високий опір змінному струму.

Таким чином, трифазний дросель розглянутої конструкції одночасно має невеликий опір постійному струму і створює дуже високий опір між проводами трифазної лінії електропередачі змінного струму. Ці якості дозволяють здійснювати боротьбу з ожеледицею на проводах постійним струмом, не перевантажуючи трансформаторів СЦБ на тягових підстанціях, що живлять при цьому навантаження, створюване пристроями автоблокування і підключеними до лінії двома дроселями. Як показали випробовування, додаткова уявна потужність, що відбирається від живильного трансформатора СЦБ двома включеними дроселями потужністю по 320 кВА, становить близько 12 кВА, що не призводить до недопустимого



перевантаження живлять ЛЕП трансформаторів, зазвичай мають потужність 30-50 кВА.

Для виготовлення спеціальних дроселів можна використовувати трифазні силові трансформатори, відповідним чином здійснивши перемотування їх високовольтної обмотки та перепаювання її висновків.

Дроселі ж для ЛЕП, виконаних біметалевими проводами (або проводами з кольорового металу), повинні мати велику потужність, що становить близько 1000 кВА.

Комутація аналізованої схеми аналогічна представленій на рисунку вище. Однак установки захисту ЗП під час підігріву проводів не потрібно, оскільки її функції виконують самі дроселі. Дійсно, при відриві одного з проводів лінії або при замиканні між ними порушується симетрія магнітної системи дроселя, що призводить до його насичення постійним магнітним потоком через суттєву відмінність величин випрямленого струму в окремих проводах. При цьому опір обох дроселів змінному струму різко знижується, що призводить до зростання навантаження трансформатора, що живить ЛЕП автоблокування. Це спрацьовує реле максимальної захисту відповідного фідера СЦБ тягової підстанції. Одночасно з відключенням масляного вимикача фідера СЦБ контактами вихідного реле цього захисту замикається ланцюг виконавчого реле, що викликає відключення швидкодіючого вимикача ланцюга випрямленого струму підігріву. Таким чином, в аварійному режимі відбувається відключення ЛЕП автоблокування як з боку змінного, так і з боку випрямленого струму. Заземлення однієї з фаз лінії є аварійним режимом для дроселя, оскільки напруга незаземлених проводів щодо землі підвищується до лінійного. Для можливості автоматичного відключення ЛЕП автоблокування з боку змінного струму в цьому випадку необхідно перевести дію захисту від замикання проводів лінії на землю з сигналу на відключення масляного вимикача відповідного фідера СЦБ підстанції. Одночасно повинно проводитися відключення швидкодіючого вимикача в ланцюзі струму підігріву при спрацьовуванні вихідного реле замикання на землю, що впливає

на кола управління вимикача. На весь час підігріву проводів пристрою автоматичного повторного включення (АПВ) та автоматичного включення резерву (АВР) відповідного фідера СЦБ підстанції необхідно вивести з роботи.

При включенні схеми підігріву проводів ЛЕП автоблокування у високовольтні обмотки вимірювальних трансформаторів напруги на тяговій підстанції може відгалужуватися частина випрямленого струму, що неминуче потягне за собою вихід їх з ладу. Тому між нульовою точкою цих трансформаторів і контуром заземлення повинні бути включені конденсатори ємністю близько 1 мф. Для виключення резонансних явищ послідовно з цими конденсаторами слід включити активний опір величиною  $R$  близько 10 кОм. Необхідність виділення випрямного агрегату і використання землі в якості зворотного проводу призводить до того, що згладжуючий пристрій тягової підстанції живлення не входить у схему боротьби з ожеледицею. Незважаючи на те, що вхідний опір ЛЕП автоблокування, виконаного сталевими проводами, у кілька разів більший, ніж відповідна величина для тягової мережі, у несприятливих умовах при близькому розташуванні ЛЕП та повітряних ліній зв'язку відсутність фільтрації випрямленої напруги, що живить ланцюг підігріву, може призвести до помітного збільшення перешкод у повітряних лініях зв'язку, особливо у випадках, коли підігрів проводів проводиться одночасно на довжині декількох міжпідстанційних зон. Необхідність виконання захисту повітряних ліній зв'язку від індуктивного впливу, що заважає, у схемі підігріву проводів ЛЕП автоблокування повинна виявлятися, у конкретних місцевих умовах при комісійних випробуваннях її енергетиками та зв'язківцями. Якщо при цих випробуваннях буде встановлено, що вплив схеми, що заважає, призводить до неприпустимого погіршення якості зв'язку, то може знадобитися встановлення згладжувальних пристроїв. При цьому як реактор можуть бути використані або індивідуальний реактор виділеного випрямного агрегату, або реактор спеціальної конструкції. В останньому випадку, враховуючи порівняно невелику величину сумарного струму підігріву проводів, доцільно застосовувати реактори, що мають високу



індуктивність, для зниження ємності фільтра. Зокрема, можна виконати реактор, використавши дві-три котушки резонансного першого контуру (налаштованого на частоту 300 Гц) від стандартного одноланкового пристрою, що згладжує. Розглянуту схему запропоновано працівниками Південної та Донецької доріг. Випробування, проведені цих дорогах в експлуатаційних умовах, підтвердили її ефективність.

При заземленні лінії через дросель в середині зони можна отримати величину струму в проводах ЛЕП автоблокування, достатню не тільки для профілактичного підігріву цих проводів, але і для плавки ожеледиці на них при значній відстані між сусідніми тяговими підстанціями. Однак виконання такої схеми вимагає установки в середині зони боротьби з ожеледицею додаткових дроселів, через які дроти лінії з'єднуються зі спеціальним контуром заземлення. Це викликає необхідність збільшення кількості дроселів і підвищення їхньої загальної потужності в 2 рази, що може призвести в ряді випадків до перевантаження трансформаторів, що живлять лінію. Тому при плавці ожеледиці, а також при профілактичному підігріві проводів на довгих зонах слід віддати перевагу схемою, запропонованою ЦНДІ МПС. На сусідніх тягових підстанціях постійного струму встановлюють спеціальні трифазні дроселі, підключені до ЛЕП автоблокування. На одній з підстанцій між нульовою точкою дроселя і контуром заземлення включають виділений агрегат з нормальною полярністю. Такий же агрегат на суміжній підстанції включають за схемою зі зворотною полярністю, тобто катод його приєднують до контуру заземлення підстанції, а мінусовий висновок - до нульової точки дроселя. При такій схемі різнополярного двостороннього живлення ланцюга боротьби з ожеледицею струм у проводах лінії визначається сумою випрямлених напруг двох виділених агрегатів, встановлених на сусідніх тягових підстанціях.

Розрахунки показують, що при виконанні ЛЕП автоблокування проводами ПСО-5 застосування цієї схеми дозволяє не тільки проводити профілактичний підігрів проводів на зоні більше 25 км, але і здійснювати

плавку ожеледиці на них при відстані між тяговими підстанціями від 15 до 32 км. У зв'язку з тим, що тривалість плавки ожеледиці невелика і становить всього близько 20 - 30 хв, а процес плавки може здійснюватися по черзі на довжині окремих міжпідстанційних зон, застосування запропонованої схеми дозволить у ряді випадків уникнути необхідності установки пристроїв для згладжування для зниження індуктивного заважає її на повітряні лінії зв'язку.

В результаті накладення на робочу змінну напругу випрямленої напруги, що створює струм боротьби з ожеледицею, результуюче напруження між проводами ЛЕП автоблокування і землею підвищується. Амплітуда цього результуючої напруги при здійсненні схем дорівнює сумі амплітуд фазової робочої напруги і напруги випрямного агрегату, що живить ланцюг боротьби з ожеледицею.

Найбільше амплітудне значення результуючого напруги між проводом лінії і землею проявляється поблизу живильної підстанції і становить при випрямленій напрузі 3,3 кВ і робочій напрузі ЛЕП 6 кВ близько 8,5 кВ, а при робочій напрузі 10 кВ - приблизно 2. При таких величинах напружень не потрібно відключення розрядників від ЛЕП автоблокування. Ця напруга не є небезпечною і щодо впливу їх на ізоляцію кабельних вводів і вставок, а також живильних і лінійних трансформаторів, підключених до лінії.

При підготовці схеми необхідно звернути особливу увагу на ізоляцію тих частин обладнання випрямного агрегату, призначеного для роботи зі зворотною полярністю, які нормально знаходяться під низьким потенціалом мінусової шини підстанції, а в період боротьби з ожеледицею ставляться під високе випрямлення напруга. Слід врахувати також зміну полярності електровимірювальних приладів цього агрегату.

Протиожеледний підігрів ЛЕП автоблокування з частотою 50 Гц, а в ряді випадків і плавка ожеледиці на них, без припинення електропостачання споживачів може бути здійснений зрівняльними струмами при двосторонньому живленні лінії зі суміжних тягових підстанцій від трансформаторів, що мають зсув лінійних напругб електричних, (пропозиція



ЦНДІ МПС). Для виконання цієї схеми потрібно встановити на суміжних тягових підстанціях спеціально для боротьби з ожеледицею трансформатори відповідної потужності з групою з'єднання  $Y/\Delta-11$ , які випускаються промисловістю. Необхідний зсув лінійних напруг цих двох трансформаторів можна отримати, якщо поміняти місцями приєднання шин до двох однойменних висновків одного з трансформаторів одночасно на стороні високої та низької напруги.

Зазначене переєднання зовнішніх висновків трансформатора, що не вимагає його розтину, рівноцінно зміні групи з'єднання обмоток цього трансформатора з  $Y/\Delta-11$  і  $Y/\Delta-1$ . Групи трансформаторів на сусідніх підстанціях після цього переєднання розрізняються на дві умовні години, що відповідає зсуву лінійних напруг на кут  $60^\circ$  ел.

З порівняння видно що більш доцільно застосовувати для аналізованої схеми трансформатори з групою з'єднання обмоток  $Y/\Delta-11$ , ніж з групою  $Y/Y-12$ .

Як відомо, при паралельному включенні трансформаторів, що мають неоднакові групи з'єднання обмоток, по проводах, що їх з'єднують, проходять зрівняльні струми, обумовлені геометричною різницею векторів лінійних напруг цих трансформаторів. У цьому способі ці струми використовуються для протиожеледного нагріву проводів.

Спільна векторна діаграма лінійних напруг двох трансформаторів з групами з'єднання обмоток, що розрізняються на два умовні години, двосторонньо живлять ЛЕП автоблокування між тяговими підстанціями. З цієї діаграми, напруга між кінцями кожного дроту лінії становить 58% від лінійної напруги на живлячих трансформаторах (відрізки  $A'B''$ ,  $B'C''$  і  $A''C''$ ), тобто чисельно дорівнює фазовому напругі живлення  $U$  міру віддалення від тягових підстанцій до середини зони підігріву напруження між проводами поступово зменшується. Величина лінійного напруження в будь-якому перерізі лінії пропорційна відрізкам, що з'єднують відповідні точки векторної діаграми. 23 відповідають сторонам трикутника 21-22-23 векторної діаграми. Найменша

величина лінійної напруги має місце в середині міжпідстанційної зони і становить 87% (відрізки 31-32, 32-33, 31-33) від лінійної напруги трансформаторів живлення без урахування втрати напруги, обумовленої робочим навантаженням лінії) Таке зниження напруги у споживачів СЦБ може бути частково компенсовано відповідною перестановкою анцапф на трансформаторах, що живлять ланцюг підігріву проводів. Напруга, що підводиться до первинних обмоток живильних і сигнальних трансформаторів, не повинна перевищувати номінального (вказаного на заводському щитку трансформатора для даного положення його анцапф) більш ніж на 5%. Для сталелегатурних проводів величини цих опорів наведено в таблиці.

Розрахунки показують, що при робочому напрузі ЛЕП автоблокування 6 кВ можлива довжина зони підігріву проводів менше, ніж при 10 кВ, приблизно в 1,6 рази, тобто укладена в межах 10-13 км. Необхідна при цьому потужність кожного живильного трансформатора також знижується і становить близько 250 кВА.

З урахуванням конкретних метеорологічних умов ожеледиці на даній ділянці величина мінімального струму, необхідного для профілактичного підігріву проводів, може бути дещо знижена в порівнянні з граничним його значенням, даним у таблиці. При цьому слід скористатися залежністю величини цього струму від навколишньої температури і швидкості вітру. У ряді випадків таке коригування дозволить збільшити допустиму довжину зони протиожеледного підігріву проводів на 20 – 25 %.

Для можливості одночасного підігріву проводів ЛЕП автоблокування на двох суміжних міжпідстанційних зонах зазначені вище потужності трансформаторів живлення слід подвоїти.

Внаслідок того, що необхідна потужність живлять трансформаторів, які необхідно встановити на тягових підстанціях, навіть при виконанні ліній проводами марки ПСО-5 досягає декількох сотень кіловольт-ампер, живлення їх від шин власних потреб підстанції не завжди можливе. Тому зазначені трансформатори доцільно підключати безпосередньо до шин 6 або 10 кВ



тягової підстанції. В якості живлячих трансформаторів при цьому можуть бути застосовані трифазні трансформатори, що випускаються промисловістю 6/10, 6/6 або, 10/10 кВ.

Захист лінії під час підігріву забезпечується струмовими реле, встановленими на фідерах підігріву. Їх спрацьовування викликає відключення масляних вимикачів живлячих трансформаторів. Перевага розглянутої схеми полягає в тому, що на ізоляцію лінії та підключене до неї обладнання не впливає підвищену напругу. При підігріві проводів за цією схемою не створюється також додаткового впливу на повітряні лінії зв'язку, прокладені вздовж полотна залізниці. І, нарешті, при її виконанні не потрібно з'єднання проводів лінії з рейками та землею, тому відсутній небезпечний вплив на рейкові ланцюги автоблокування.

При підігріві проводів вздовж лінії постійно змінюється фазовий кут лінійної напруги. Так як довжина рейкового ланцюга автоблокування зазвичай дорівнює 1-2 км, відмінність фазового кута напруги живлення на її кінцях становить всього кілька градусів, що не може призвести до порушення роботи двоелементних реле СЦБ.

Однак на ділянках, що примикають до кінця і початку зони боротьби з ожеледицею, у разі застосування двоелементних реле в рейкових ланцюгах необхідно встановити на ЛЕП автоблокування по два лінійних трансформатори для можливості живлення пристроїв даної рейкової ланцюга від однієї фази. Це зумовлено тим, що на зазначених ділянках при роботі схеми підігріву може виникнути зсув фазового кута лінійних напруг на  $60^\circ$  електричних по кінцях одного рейкового ланцюга.

У тих випадках, коли можливо забезпечити живлення лінії від високовольтної ЛЕП в середині довгої міжпідстанційної зони, область застосування розглянутого способу профілактичного підігріву проводів (а іноді і для плавки ожеледиці на них) може бути значно розширена. Для цього змінюють схему таким чином, що в середині зони живлення лінії при протиожеледному підігріві проводів або при плавці ожеледиці забезпечується

від ЛЕП-10 (35) кВ через понижувальний трифазний трансформатор відповідної потужності (або безпосередньо від ЛЕП- 6 кВ). По кінцях зони боротьби з ожеледицею на тягових підстанціях встановлюють трансформатори живлення з однаковою групою з'єднання обмоток. Знижувальний трансформатор у середині лінії (або ЛЕП-6 кВ) і трансформатори на тягових підстанціях повинні бути сфазовані так, щоб забезпечити зсув між лінійними напругами на кут  $60^\circ$  ел.

Розглянута схема забезпечує високу оперативність. Перехід від робочого режиму до режиму профілактичного підігріву проводів і назад можна здійснити протягом хвилини. При обладнанні телеуправлінням ця схема легко може бути введена в дію безпосередньо енергодиспетчером.

На весь час підігріву проводів пристрою автоматичного повторного вмикання (АПВ) та автоматичного вмикання резерву (АВР) повинні бути вимкнені.

Проведені на одній із ділянок Одеської залізниці випробування в умовах експлуатації підтвердили можливість боротьби з ожеледицею за цією схемою без припинення електропостачання споживачів. На ділянках змінного струму для підігріву проводів ЛЕП (автоблокування з частотою 75 Гц і напругою 6 кВ використовують схему накладання однофазного струму через дроселі (рисунок нижче). Профілактичний підігрів проводів може бути здійснений без припинення нормального електропостачання споживачів. Ця схема передбачає накладення на всі три дроти працюючої ЛЕП автоблокування однофазного струму з частотою 50 Гц через нульові точки розділяючих дроселів, підключених але кінцям зони профілактичного підігріву проводів. Між нульовою точкою кожного з них і спеціальним контуром заземлення, що має опір розтіканню кілька Ом, підключають висновки однієї з фаз вторинної обмотки трансформаторів з напругою 6 кВ, що живлять ланцюг підігріву проводів. При цьому вектори напруг 6 кВ трансформаторів сусідніх підстанціях мають бути зсунуті на кут  $180^\circ$  ел.



Величина струму підігріву проводів ліній у такій схемі визначається сумою напруг обох трансформаторів, що живлять.

Трифазні дроселі в цій схемі виконують ту ж роль, що і при підігріві проводів постійним струмом. Проходження напівобмотками дроселя, встановленим на одному стрижні його сердечника, однофазного струму в кожен момент часу однакового за величиною, але протилежного за напрямом, не викликає появи магнітного потоку. Тому для однофазного струму дросель представляє опір, рівний лише активному опору його обмотки. Для трифазного робочого струму лінії, навпаки, дросель має дуже високий опір внаслідок створення в його магнітопроводі змінного трифазного магнітного потоку. З епюри зміни напруг, вздовж ЛЕП автоблокування при протиожеледному підігріві її проводів видно, що найбільше амплітудне значення результуючого напруги між кожним дротом і землею дорівнює сумі амплітуд фазної робочої напруги  $U_{\text{ф.раб}}$  і напруги  $U_{\text{п}}$ , що створює струм підігріву. Ця найбільша величина результуючого напруги виникає поблизу кожної тягової живильної підстанції. У міру віддалення від тягових підстанцій до середини зони підігріву величина результуючого напруги між проводом лінії і землею зменшується, стаючи в середині зони, що дорівнює її фазному робочому напрузі.

Принципова схема пристрою плавки голольоду (ППГ) наведено на рис. 2.10. Основним елементом захисту УПП є швидкодіючий високовольтний дуговий короткозамикач (БДВК), що забезпечує переведення небезпечних несиметричних коротких замикань в трифазне замикання з меншими струмами. Швидкодія БДВК забезпечується введенням у простір між силовими електродами двох допоміжних електродів. Пристрої захисту подають сигнал на відмикання тиристорного контактора (ТК), внаслідок чого між допоміжними електродами виникає електрична дуга, що шунтує проміжки між силовими електродами. Тиристорний контактор слід живити від шин 0,4 кВ, напруга на яких не повинна знижуватися нижче 70% номінального за короткого замикання між полюсами перетворювача.



### 3 ДОДАТКОВІ ПРИСТРОЇ ПЛАВЛЕННЯ ЛЬОДУ

#### 3.1 Плавка ожеледиці від перетворювача, підключеного до шин 6-10 кВ або трансформатора

При плавці ожеледиці струмом можливий дискретний вибір струму зміною схем з'єднання проводів окремих фаз лінії. Вибір раціональної схеми плавки залежить від параметрів повітряної лінії (ПЛ), електричної мережі та джерел живлення.

На рисунку 3.1 показана схема накладання однофазного струму через дроселі.

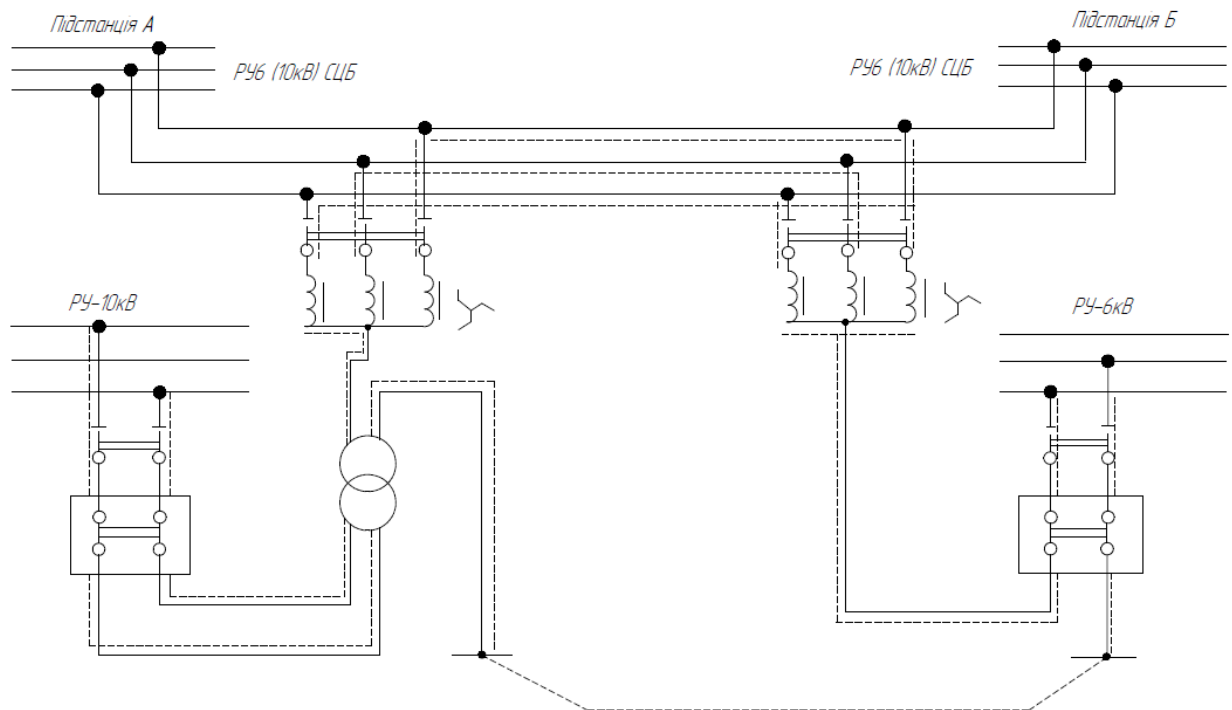


Рисунок 3.1 – Схема накладання однофазного струму через дроселі

Найбільше амплітудне значення результуючої напруги між кожним дротом. Лінії та землею при напрузі 6 кВ, що живить зону підігріву, становить 14,2 кВ, що значно менше пробивної напруги розрядників РВП-6 рівного 22,6 кВ. Таким чином, при застосуванні розглянутої схеми не потрібно



відключення цих розрядників від лінії на період боротьби з ожеледицею. Вплив цієї результуючої напруги на ізоляцію кабельних вводів і вставок ЛЕП автоблокування на час боротьби з ожеледицею може бути допущено, так як воно не перевищує величини випробувального змінного напруги кабелів, яке в 1,65 рази більше їх лінійної робочої напруги. Для однофазних і трифазних трансформаторів, підключених до лінії, випробувальна напруга змінного струму з частотою 50 Гц значно вище, ніж для кабелів. Відповідно до чинних норм амплітуда цієї випробувальної напруги приблизно в 2 рази перевищує амплітуду максимальної результуючої напруги між проводом лінії і землею при підігріві проводів. Однак, враховуючи, що тривалість застосування випробувального напруги становить всього 1 хв, для підвищення надійності ізоляції доцільно на відстані близько 10 км від кожної тягової підстанції провести заміну лінійних трансформаторів з напругою 6 кВ, підключених до ЛЕП автоблокування, на трансформатори відповідної потужності напругою 10 кВ на високій стороні і 220 В - на низькій. При підключенні до лінії 6 кВ ці трансформатори матимуть на низькій стороні 127 В.

Ізоляція лінійних трансформаторів може бути підвищена також шляхом заміни у трансформаторів ОМ-6 бака з високовольтними ізоляторами відповідними деталями від трансформаторів ОМ-10. При цьому магнітопровід та обмотки трансформатора ОМ-6 залишаються без зміни.

Проходження проводами ЛЕП автоблокування струму підігріву з частотою 50 Гц практично не призводить до збільшення індуктивного небезпечного впливу на лінії зв'язку. Винятком є ділянки, на яких індуктивний вплив тягової мережі обмежено трансформаторами, що відсмоктують. Для таких ділянок слід провести перевірку можливості підігріву проводів, використовуючи методику, наведену як видно з рисунку, за відсутності на тяговій підстанції А РУ-6 кВ виникає необхідність установки спеціального понижуючого трансформатора. Для його підключення в РУ-10 кВ тягової підстанції повинна бути виділена комірka з установкою машинного роз'єднувача 2 та масляного вимикача 3 (двополюсних або триполюсних

залежно від числа фаз трансформатора). Один з висновків вторинної обмотки трансформатора приєднують безпосередньо до контуру заземлення тягової підстанції, а інший - до нульової точки роздільного дроселя 4. Від дроселя прокладають високовольтний кабель відповідного перерізу до триполюсного роз'єднувача 5, за допомогою якого приєднується до всіх дротів лінії.

У тому випадку, коли на тяговій підстанції є РУ-6 кВ (підстанція Б), схема комутації спрощується, так як дросель, що розділяє, підключають до РУ-6 кВ без понижуючого трансформатора.

Розрахунки показують, що при номінальній напрузі, що створює струм підігріву, що дорівнює 6,3 кВ за схемою рисунка може бути здійснений протиожеледний підігрів проводів ЛЕП автоблокування з напругою 6 кВ і частотою 75 Гц при відстані між тяговими підстанціями змінного струму 40 км. Потужність понижуючого трансформатора або відбирається потужність від шин 6 (10) кВ тягової підстанції становить близько 500 кВА, а дросель, що розділяє, може бути виготовлений з трифазного трансформатора потужністю 320 кВА.

При більшій відстані між суміжними тяговими підстанціями величина струму в проводах ЛЕП автоблокування, достатня для профілактичного підігріву, може бути реалізована в розглянутій схемі, якщо на одній з підстанцій напруга, що живить ланцюг підігріву, дорівнює 10 кВ, а на іншій - 6 кВ. Як видно з епюри зміни напруги вздовж зони підігріву, на першій підстанції і на відстані 15 км від неї слід провести заміну кабельних вводів і вставок високовольтним кабелем (або повітряною лінією) на напругу 10 кВ. Це зумовлено тим, що максимальна результуюча напруга між кожним дротом лінії і землею приблизно в 1,4 рази перевищує випробувальну напругу кабельних вводів і вставок. На зазначеній частині міжпідстанційної зони слід вимкнути розрядники від ЛЕП автоблокування. Доцільно також для підвищення надійності ізоляції замінити на цій ділянці лінійні трансформатори з напругою 6 кВ на трансформатори з напругою 10 кВ.

У деяких випадках для профілактичного підігріву проводів (або плавки ожеледиці на них) може бути застосована розглянута схема при живленні зони боротьби з ожеледицею з обох сторін від трансформаторів з напруженням 10 кВ. Однак, як видно з епюри напруг, зазначені вище заходи щодо посилення ізоляції лінії та її обладнання, а також відключення розрядників потрібно виконати на двох зонах завдовжки близько 12 км поблизу обох тягових підстанцій. У розглянутій схемі захист ЛЕП автоблокування при обриві проводів або їх замиканні між собою, а також замиканні на землю забезпечують дроселі, що розділяють. При зазначених аварійних режимах сердечники дроселів насичуються розбалансованим однофазним магнітним потоком, видаючи різке збільшення опору в ланцюзі нагрівання проводів. Це призводить до спрацьовування реле мінімального струмового захисту, спеціально встановленого в цьому ланцюзі, яке впливає на керування масляним вимикачем, викликаючи відключення схеми нагрівання проводів ЛЕП автоблокування.

Необхідність заміни високовольтних кабелів і лінійних трансформаторів, підключених до ЛЕП автоблокування, вимагає в ряді випадків проведення значного обсягу робіт і суттєвих витрат.

Крім того, необхідність відключення розрядників від лінії перед настанням ожеледиці викликає відомі експлуатаційні труднощі і знижує надійність її роботи. Враховуючи ці обставини, слід віддати перевагу двосторонньому живленню ланцюга підігріву проводів при боротьбі з ожеледицею за розглянутою схемою напругою 6 кВ.

Схема плавки однофазним струмом на відключеній ЛЕП передбачає проведення плавки ожеледиці на проводах ЛЕП автоблокування з частотою 75 або 50 Гц при її відключенні. Таким чином, за відсутності резерву для електропостачання пристроїв автоблокування в зоні плавки ожеледиці їх живлення припиняється, що веде до тимчасового різкого обмеження пропускної здатності залізниці.



Схема (рис. 3.2) відрізняється від попередньої відсутністю дроселів, що розділяють, на суміжних тягових підстанціях. Нагрів проводів при плавці ожеледиці на відключеній з обох сторін ЛЕП автоблокування проводиться однофазним струмом від тих фаз РУ-10 кВ з частотою 50 Гц суміжних тягових підстанцій змінного струму, які зрушені між собою на кут  $180^\circ$  ел. При цьому на початку та в кінці зони плавки ожеледиці всі три дроти лінії з'єднані між собою. Якщо на тяговій підстанції відсутня РУ-10 кВ, необхідно на ній встановити відповідний трансформатор для отримання цієї напруги.

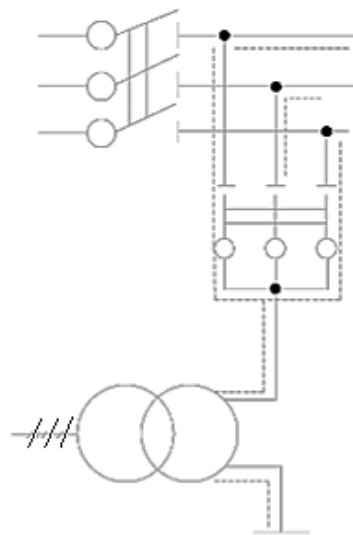


Рисунок 3.2 – Схема плавки ожеледиці на відключеній ЛЕП однофазним струмом при двосторонньому живленні

Мінімальна та максимальна довжини зон, в межах яких у кожному проводі ЛЕП автоблокування може бути отриманий струм, необхідний для плавки ожеледиці, якщо в них замість величин струму профілактичного підігріву проводів підставити струм плавки ожеледиці. Внаслідок того, що при плавці ожеледиці за розглянутою схемою робоча напруга відключена від ЛЕП автоблокування, максимальна величина напруги між її проводами і землею поблизу підстанцій живлення дорівнює напруги, що створює струм нагріву проводів. Вплив цієї напруги на ізоляцію кабельних ввідів та вставок лінії, а також обладнання, підключеного до неї, може бути тривало допущено. У цій

схемі не потрібно також відключення перед плавкою ожеледиці розрядників, встановлених на ЛЕП автоблокування. За розглянутою схемою може бути здійснена плавка ожеледиці на проводах ліній автоблокування марки ПСО-5 практично при будь-якій можливій відстані між суміжними тяговими підстанціями змінного струму. Потужність, що відбирається при цьому від РУ-10 кВ кожної підстанції становить приблизно 450 кВА. Для захисту проводів ЛЕП автоблокування від перегріву при короткому замиканні між ними або при замиканні їх на землю фідера плавки ожеледиці в розглянутій схемі повинні бути обладнані максимальним захистом, що відключає її на обох підстанціях при перевищенні в будь-якому з проводів лінії максимально допустимого струму для відповідної марки дроти. Тому, крім максимальної, схема плавки повинна мати диференціальний захист, що відключає ланцюг плавки при вказаному аварійному ремонті. Схема плавки ожеледиці на відключеній ЛЕП однофазним струмом односторонньому живленні (рис. 3.3)

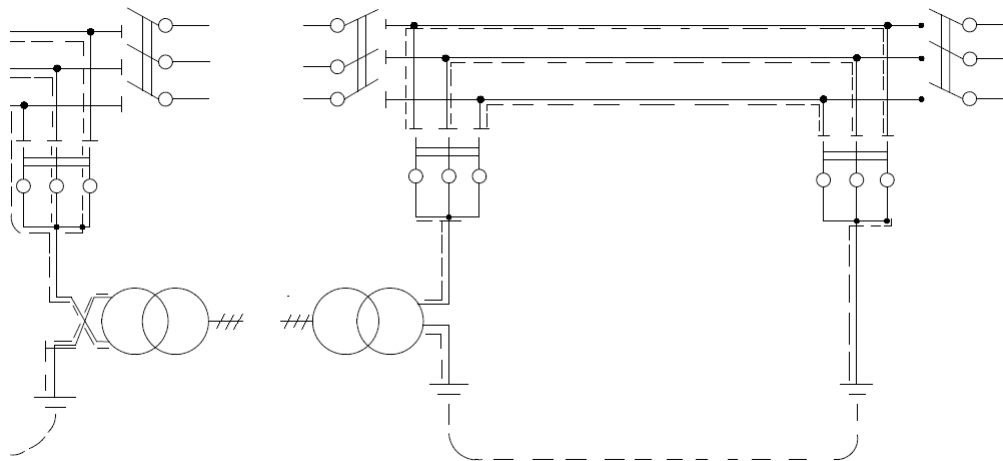


Рисунок 3.3 – Схема плавки ожеледиці на відключеній ЛЕП однофазним струмом при односторонньому живленні

Схема передбачає плавку ожеледиці на проводах відключеної лінії шляхом одностороннього живлення від РУ-6 (10) кВ ланцюга короткого замикання, утвореного всіма трьома проводами ЛЕП і автоблокування, з'єднаними паралельно.

Плавка ожеlediці за такою схемою може здійснюватися як на всій довжині міжпідстанційної зони, так і на половині її. В останньому випадку як заземлювач може бути використана рейкова мережа. При цьому з метою зменшення потенціалу рейок щодо землі приєднання до неї проводів ЛЕП автоблокування доцільно проводити в горловині багатоколіїної станції і через середню точку колійного дроселя, щоб не викликати порушення роботи пристроїв автоблокування. Внаслідок того, що при схемах на рисунку в ланцюгу струму плавки ожеlediці як зворотного проводу використовується земля, слід проводити перевірку можливості їх застосування за умов індуктивного небезпечного впливу на лінії зв'язку.

Розглянута вище схема може бути застосована також для профілактичного підігріву проводів ЛЕП автоблокування 6 (10) кВ з частотою 50 Гц, що забезпечує електропостачання індивідуальних статичних перетворювачів частоти, що живлять рейкові ланцюги автоблокування сигнальним струмом з частотою 25 Гц. У цій схемі застосування розділяючих дроселів дозволяє здійснити накладання однофазного струму плавки ожеlediці на працюючу ЛЕП автоблокування.

При робочій напрузі 10 кВ величина випробувального змінного напруги з частотою 50 Гц для трансформаторів, підключених до ЛЕП автоблокування, становить 37 кВ (випробування після капітального ремонту без зміни обмоток), що в 1,5-2 рази перевищує результуючу напругу між проводом та землею в режимі протиожеledenого підігріву.

Плавка ожеlediці на додатковому дроті або його профілактичний підігрів без припинення живлення пристроїв СЦБ може бути здійснений шляхом двостороннього різнофазного живлення цього дроту від шин 27,5 кВ. За умовами реалізації необхідної величини струму в додатковому дроті довжина зони плавки ожеlediці, як показано нижче, повинна становити 100-120 км, тобто бути дорівнює подвоєній відстані між тяговими підстанціями змінного струму. Профілактичний підігрів дроту може бути виконаний при



живленні ланцюга від тягових підстанцій, віддалених на 150-180 км один від одного, тобто на довжині трьох міжпідстанційних зон.

На ділянках змінного струму України для створення рівномірного навантаження трифазної лінії електропередачі (ЛЕП), що живить кілька тягових підстанцій, підключення первинних обмоток трансформаторів цих підстанцій до ЛЕП здійснюється за іншою схемою. При цьому розрізняють три типи тягових підстанцій: I, II і III, які в прямому і потім у зворотному порядку йдуть один за одним, а підстанції типів I і III здвоєні в циклі чергування. Таким чином, на кінцях зони довжиною 100-120 км можуть розташовуватися підстанції типів I та II; II і III або I і III, що мають однакову групу з'єднання обмоток трансформаторів  $Y/\Delta-11$ , причому виведення з усіх трансформаторів з'єднане з рейками.

При живленні зони від підстанцій типів I і II порядок чергування фаз напруг цих підстанцій різний внаслідок відносної зміни (на одній тяговій підстанції по відношенню до іншої) місцями підключення до ЛЕП двох висновків з високого боку трансформаторів. У цьому випадку лінійні напруги  $U_{ac}$  і  $U_{ac}''$  живлять контактну мережу, збігаються по фазі. При розташуванні на кінцях зони плавки ожеледиці підстанцій типів II і III векторна діаграма напруг аналогічна розглянутій вище, однак збігаються по фазі напруги  $U_{bc}$  і  $U_{bc}''$ . Нарешті, для зони, укладеної між підстанціями типів I і III, як видно з векторної діаграми порядок чергування фаз напруг на стороні 27,5 кВ обох підстанцій однаковий, а їх однойменна лінійна напруга зсунута між собою на  $120^\circ$  ел. внаслідок відносної циклічної перестановки приєднання до ЛЕП всіх трьох висновків високої сторони трансформаторів цих підстанцій. З розгляду наведених векторних діаграм випливає, що для докладання до кінців додаткового дроту напруги, рівного лінійному, при підстанціях типів I і II або II і III необхідно з'єднати цим дротом висновки  $a$  і  $b''$  або виводи  $a''$  і  $b$ . Для отримання аналогічного ефекту при підстанціях типів I і III додатковим проводом повинні бути з'єднані виводи  $b$  і  $a''$ .

Таким чином, для здійснення боротьби з ожеледицею розглянутим способом повинно бути забезпечене зустрічно-консольне живлення додаткового проводу на суміжних міжпідстанційних зонах відповідних шин 27,5 кВ тягових підстанцій.

Для цього необхідно обладнати відповідними роз'єднувачами і вимикачем кожен другу тягову підстанцію для можливості здійснення зазначеної схеми живлення додаткового дроту. З векторної діаграми видно, що напруга між кінцями додаткового дроту, а також між (ним дротом і рейками на кінцях зони плавки дорівнює лінійному напругі живлення). У міру віддалення від тягових підстанцій до середини лінії напруга між додатковим проводом та рейками зменшується. На підставі геометричних співвідношень векторної діаграми модуль напруги між додатковим проводом і рейками в будь-якому перерізі лінії без урахування втрати напруги, обумовленої робочим навантаженням пристроями СЦБ, може бути знайдений за наведеною вище формулою. Мінімальний рівень напруги відповідає середині зони плавки ожеледиці і становить 0,87.

Обчислення показують, що величина  $U_{\max}$  становить 13-11% напруги, що живить ланцюг плавки ожеледиці. Для підвищення рівня напруги доцільно підняти його на період боротьби з ожеледицею пристроями регулювання напруги (РПН) трансформаторів підстанцій на 3-5%. Можливе зниження напруги у частини споживачів СЦБ на 8-10% може бути тимчасово допущено.

При плавці ожеледиці система додаткових проводів отримувала двостороннє живлення від шин 27,5 кВ тягових підстанцій А (типу II) і В (типу I), розташованих на відстані 112 км один від одного. З'єднання додаткового дроту сусідніх фідерних зон між собою було здійснено на тяговій підстанції Б, розташованій між підстанціями А і В. Струм у додатковому проводі марки АС-35 вимірювався в трьох точках вздовж зони плавки і складав 180 А. З- за відсутності природного ожеледиці безпосередньо перед складанням випробуваної схеми на трьох ділянках додаткового проводу довжиною 2-3 м був штучно наплавлений ожеледь різної товщини. Танення ожеледиці на всіх

ділянках додаткового дроту почалося через 3 хв після подачі струму в цей провід. Процес плавки закінчився і провід висох при ожеледиці з товщиною стінки 1,5 мм за 6 хв, при шарі 3 мм - за 10 хв і, нарешті, при товщині ожеледиці в 10 мм - за 15 хв. Температура дроту, не покритого ожеледицею, виміряна за допомогою прикріпленого до дроту термометра, становила після включення схеми +25 °С при температурі зовнішнього повітря -10 °С. Таким чином, перегрів дроту досягав 35 °С.

У період плавки ожеледиці пристрою СЦБ отримували нормальне постачання електроенергією від додаткового дроту, причому будь-яких порушень роботи автоблокування не відбувалося.

Розглянутий спосіб боротьби з ожеледицею не вимагає установок додаткової потужності трансформаторів на підстанціях, викликає порівняно невелике перевлаштування схеми живлення додаткового проводу і є досить оперативним. Для доходу від нормального режиму живлення пристроїв автоблокування, плавки ожеледиці або профілактичного підігріву достатньо включити вимикачі на одній або двох тягових підстанціях, що забезпечують з'єднання додаткових проводів відповідних фідерних зон. При цій операції немає необхідності в присутності на підстанції обслуговуючого персоналу і вона може бути зроблена енергодиспетчером по телеуправлінню через частки хвилини після отримання інформації про ожеледицю.

У відповідних конкретних умовах для боротьби з ожеледицею на проводах трифазних ЛЕП поздовжнього енергопостачання 6 (10) кВ, прокладених по опорах контактної мережі залізниць постійного струму, можуть бути застосовані схеми зазначені на рисунках, детально розглянуті вище.

Для боротьби з ожеледицею на ЛЕП поздовжнього енергопостачання 6 (10) кВ найбільш доцільно застосовувати, схему двостороннього живлення зі зсувом фаз на 60° ел., особливо при виконанні цих ліній проводами з кольорового металу, для нагрівання яких потрібна значна потужність джерел живлення ня. Ця схема дозволяє проводити профілактичний підігрів або



плавку ожеледиці без припинення електропостачання споживачів, підключених до лінії. Нагрів проводів при цій схемі здійснюється зрівняльними струмами, що виникають у проводах лінії при двосторонньому живленні від трансформаторів, що мають зсув лінійних напруг на кут  $60^\circ$  ел.

ЛЕП поздовжнього енергопостачання 6 (10) кВ зазвичай отримують живлення безпосередньо від шин 6 (10) кВ тягових підстанцій постійного струму. Напруження на ці шини подається від вторинних обмоток головних понизливих трансформаторів тягової підстанції, загальна потужність яких зазвичай становить кілька мегавольт-ампер. Внаслідок цього профілактичний підігрів або плавка ожеледиці на проводах таких ліній може проводитися за цією схемою без встановлення додаткових трансформаторів.

Необхідний зсув фаз лінійних напруг  $60^\circ$  ел. на шинах 10 (6) кВ підстанцій, що живлять ланцюг боротьби з ожеледицею, може бути отриманий шляхом відповідного перефазування трансформаторів однієї з тягових підстанцій. На цій підстанції слід зробити постійне переєднання двох одноіменних фаз на всіх обмотках головних понизливих трансформаторів. При триобмотувальних трансформаторах типу ТДТНГ-15000/110 слід поміняти місцями приєднання висновків А і В трансформатора до шин на стороні 110, 35 і 10 кВ.

Таке перефазування не призведе до зміни порядку чергування фаз на шинах 10 і 35 кВ, а також на стороні власних потреб підстанції.

Внаслідок того, що дві обмотки трансформаторів з напругою 110 і 35 кВ мають з'єднання Y/Y-12, зазначене переєднання не змінить цієї групи. Обмотки з напругою 110 і 10 кВ трансформаторів з'єднані до групи Y/ $\Delta$ -11. Для цієї частини триобмотувального трансформатора виконане перефазування рівноцінна зміні групи з'єднання обмоток з Y/ $\Delta$  -11 на Y/ $\Delta$  -I. За цією схемою може бути здійснена плавка ожеледиці на проводах ЛЕП поздовжнього енергопостачання 10 кВ, виконаних проводами АС-35 при відстані між підстанціями живлення 25-45 км, тобто практично при двосторонньому живленні лінії від шин 10 кВ тягових підстанцій постійного струму,

розташованих через одну підстанцію. Відбирається від цих шин потужність кожної підстанції становить близько 4,5 МВА.

При номінальній напрузі на шинах підстанції, що дорівнює 6,3 кВ, межі зміни довжини зони плавки і потужність, що відбирається, знизяться в порівнянні з результатами наведеного розрахунку приблизно в 1,7 рази. Таким чином, можлива довжина зони плавки ожеледиці для ЛЕП поздовжнього енергопостачання 6 кВ укладена в межах 15-26 км, а потужність, що відбирається від шин 6 кВ сусідніх підстанцій (або через одну), становить близько 2,5 МВА.

Плавка ожеледиці на ЛЕП поздовжнього енергопостачання 6 (10) кВ, що отримують живлення від шин тягових підстанцій значної потужності, може бути вироблена за способом трифазного короткого замикання. При цьому способі, звичайно, припиняється електропостачання всіх споживачів, підключених до лінії.

У деяких випадках зона плавки ожеледиці може мати значну довжину, рівну подвоєній міжпідстанційної зони, що вимагатиме установки на середній підстанції триполюсного роз'єднувача для з'єднання проводів лінії сусідніх фідерних зон. При плавці ожеледиці за цією схемою уставка максимального захисту відповідного фідера ЛЕП поздовжнього енергопостачання повинна бути збільшена до значення, що не перевищує максимального допустимого струму плавки ожеледиці для відповідної марки проводу.

Схема різнофазного живлення проводів ДПР допускає плавку ожеледиці на проводах системи ДПР без припинення електропостачання однофазних і трифазних споживачів, підключених до неї, і може бути здійснена за способом, розробленим ЦНДІ МПС. При цьому способі нагрівання проводів здійснюється зрівняльним струмом, що протікає по проводах системи ДПР, а також по рейках і землі при двосторонньому різнофазному живленні лінії від шин 27,5 кВ двох тягових підстанцій. Як показано нижче, за умовами реалізації необхідної величини струму довжина зони плавки повинна становити 100-120 км. Відстань між тяговими

підстанціями змінного струму зазвичай дорівнює 50-60 км, тому при плавці ожеледиці довжина ДПР повинна отримувати живлення від підстанцій, не суміжних, а розташованих через одну. Векторна діаграма лінійної напруги в різних точках системи ДПР призводить до відмінності векторних діаграм напруги на стороні 27,5 кВ тягових підстанцій.

Спільні векторні діаграми напруг тягових підстанцій типів II і III показують, що у підстанцій цих типів порядок чергування фаз напруг на стороні 27,5 кВ різний внаслідок зміни місцями (на одній підстанції по відношенню до іншої) підключення до живлення ЛЕП двох виводів А і В на високій стороні трансформаторів. Якщо з'єднати між собою проводами ДПР висновки а і b" а також а" і b трансформаторів тягових підстанцій цих типів, то до кінців кожного проводу буде прикладено напругу, що дорівнює лінійному. Мінімальний рівень напруги відповідає середині зони плавки ожеледиці.

Для підтримки необхідного рівня напруги в лінії ДПР при плавці ожеледиці слід використовувати регулювання напруги під навантаженням трансформаторів підстанцій, а також включати паралельно обидва трансформатори на кожній підстанції.

Потужність необхідна для плавки ожеледиці, може бути реалізована трансформаторами тягових підстанцій, тому що їх загальна потужність зазвичай у 2-3 рази більша. Як впливає з векторної діаграми, при з'єднанні проводами ДПР різноіменних шин підстанцій I і II може бути забезпечена плавка ожеледиці так само, як і при живленні від тягових підстанцій типів II і III.

Найбільш доцільно при використанні цього способу плавки ожеледиці нормально здійснювати зустрічно-консольне живлення ліній ДПР від підстанцій типів I і II, а також типів II і III. Тоді для переходу від робочого режиму РУ-27.5 достатньо включити масляний вимикач на середній тяговій підстанції, що забезпечує з'єднання відповідних проводів ДПР сусідніх зон фідерних. Для цього необхідно схему середньої підстанції доповнити двополосним роз'єднувачем (рис. 3.4).



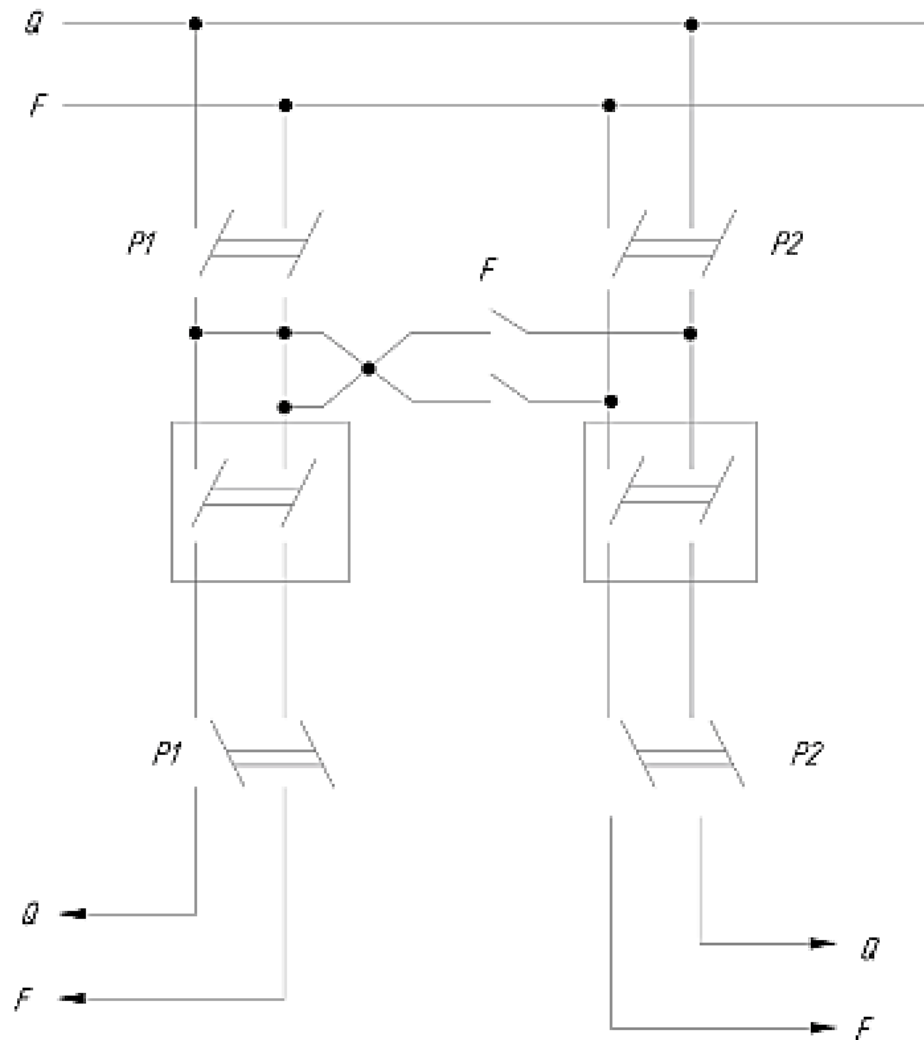


Рисунок 3.4 – Схема середньої підстанції доповнена двополюсним роз'єднувачем

Без перерви живлення споживачів системи ДПР перехід до режиму плавки ожеледиці може бути виконаний в такий спосіб. Спочатку на середній тяговій підстанції при відключених роз'єднувачах  $P_1$ ,  $P_2$  та масляних вимикачах МВ-1 та МВ-2 включають роз'єднувачі  $P_3$ ,  $P_4$  і  $P_5$ . Потім роблять включення масляного вимикача МВ-1 і, нарешті, вимикача МВ-2, який вводить лінію ДПР режим плавки ожеледиці. При обладнанні схеми телекеруванням зазначена операція може бути здійснена безпосередньо енергодиспетчером. При імітації процесу плавки ожеледиці лінія ДПР отримувала двостороннє живлення від шин 27,5 кВ тягових підстанцій типів

II і III, відстань між якими становить 96 км. З'єднання відповідних проводів ДПР сусідніх фідерних зон між собою було здійснено на тяговій підстанції, розташованій приблизно в середині між зазначеними вище підстанціями. Струм у проводах ДПР марки АС-35 вимірювався в трьох точках зони плавки і становив в одному дроті ДПР при нормальному режимі 6 А, а при включенні схеми плавки - 225 А. В іншому проводі ДПР струм був відповідно 5 і 255 А. У шести точках вздовж зони плавки вимірялися всі лінійні напруги з низької сторони трифазних трансформаторів, приєднаних до системи ДПР. Найбільше зниження напруги в системі ДПР при роботі схеми спостерігалось в середині зони плавки і досягало 15% напруги на шинах живлення тягових підстанцій. Плавка ожеледиці на проводах ДПР може бути здійснена при живленні від шин 27,5 кВ тягової підстанції петлі утвореної двома проводами ДПР, замкнутими поблизу сусідньої підстанції. Плавка ожеледиці на проводах ДПР може бути здійснена також при живленні від шин 27,5 кВ тягової підстанції петлі, утвореної проводами ДПР, замкнутими між собою в середині між підстанцією живлення і суміжними з нею (рис. 3.5). В останньому випадку найбільш зручно з'єднання проводів ДПР проводити роз'єднувачем, встановленим на трифазній комплектній трансформаторній підстанції (КТПТ). Перед здійсненням плавки ожеледиці потрібно відключити всі трифазні навантаження, що живляться від ДПР, на час плавки. Це викликано тим, що в міру віддалення від лінії живлення між проводами ДПР спадає від номінального значення до нуля. Як видно з цього рисунка, при плавці ожеледиці напруга між кожним проводом ДПР і рейковою мережею зберігається на досить високому рівні, досягаючи найменшого значення, рівного 87% від напруги живлення, в точці з'єднання проводів ДПР між собою. Це дозволяє здійснювати живлення всіх однофазних споживачів, підключених до системи ДПР під час плавки.

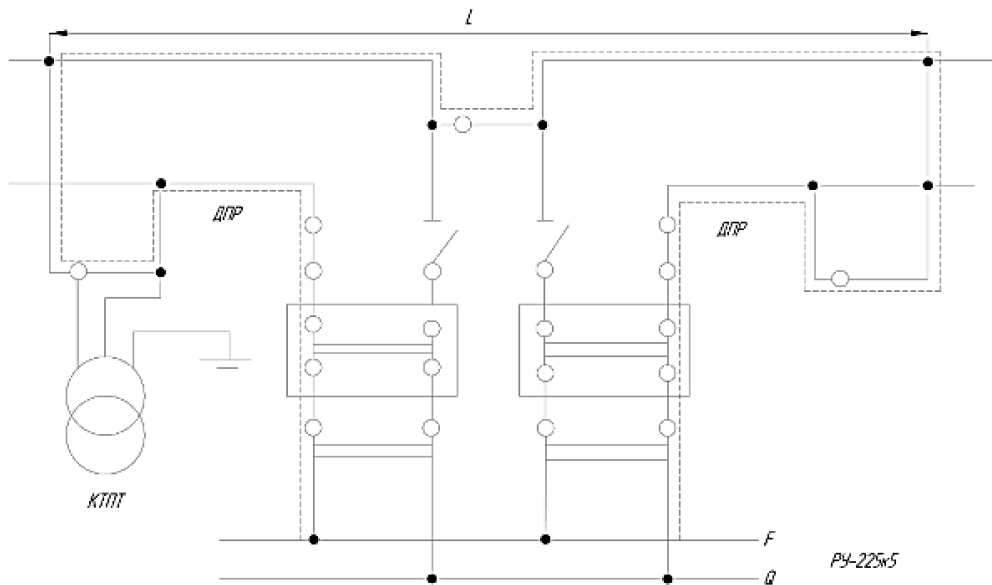


Рисунок 3.5 – Петльова схема плавки ожеледиці на проводах ДТР:  
 а – петля з одного боку від тягової живильної підстанції; б – петля з обох  
 боків від підстанції

Для підтримки в період плавки ожеледиці напруги у однофазних споживачів системи ДТР на достатньому рівні доцільно скористатися пристроями РПН трансформаторів тягової підстанції.

Розглянута схема запропонована працівниками Південно-Східної дороги, які провели випробування в умовах експлуатації, що підтвердили її ефективність. Особливістю цієї схеми є значно менший небезпечний індуктивний вплив струму плавки ожеледиці на лінії зв'язку, внаслідок проходження струму плавки ожеледиці за петлею проводів ДТР без використання землі.

### 3.2 Антиожеледна система (АІС)

У запропонованій антиожеледній системі є наявність датчиків, що дозволяють фіксувати початок ожеледиці і зміни температури проводів у зоні підходу ланцюгів телеуправління, сигнали з яких використовуються для регулювання температури в автоматичному режимі або під керуванням оператора.



Сигнали про зміну температури та утворення ожеледиці передаються каналами існуючої системи телемеханіки на енергодиспетчерський пункт, що дозволяє оперативно організувати перемикання.

Перехід від режиму підігріву до режиму плавки і назад, шляхом автоматичного або ручного перемикання на тяговій підстанції схем міжпідстанційних зон або схем контактної підвіски станції.

Зазначимо, що в існуючих системах в основу робочого режиму покладені фіксовані щільності струмів підігріву і плавлення, що означає необхідність застосування індивідуальних схем, при складанні яких використовуються роз'єднувачі зовнішньої установки. У пропонованій АЛС щільність струму в кожній схемі є індивідуальною і при використанні режиму плавлення може перевищувати значення допустимої густини, прийняте в даний час. Однак таке можливе перевищення не є небезпечним, оскільки воно контролюється зворотним температурним зв'язком.

Для вимірювання температури проводів в даний час можуть бути використані датчики, робота яких ґрунтується на різних принципах. Найбільш перспективними, є датчики, що працюють за принципом безпосереднього вимірювання температури дроту або з непрямим виміром з інфрачервоного випромінювання. У першому випадку мікропроцесорний прилад з датчиком температури оснащується мініатюрним радіопередавачем і кріпиться безпосередньо до дроту. Живлення пристрою може здійснюватися від змінної літєвої батареї, термін служби якої досягає 8 років.

Існують також прилади, що дозволяють з прийнятною точністю вимірювати перевищення температури порівняно з навколишнім середовищем щодо їх інфрачервоного випромінювання. Аналоги подібних приладів у промисловості відомі. Такі датчики досить надійні, мініатюрні і мають прийнятну вартість.

Датчик, що сигналізує про початок утворення ожеледиці, може бути створений також на основі явища зміни діелектричної проникності простору, що заповнюється ожеледицею.

Передбачувана АЛС є дворівневою. Перший, нижній рівень складають технічні засоби, встановлені на контрольованих пунктах. Інформація від датчиків концентрується у спеціальному модулі вимірювання метеофакторів. Даний модуль передає інформацію на енергодиспетчерський пункт, де розташовані технічні та програмні засоби другого рівня, на якому виконується обробка інформації та формуються команди телеуправління на перемикання схем. Для цієї мети на енергодиспетчерському пункті встановлюються персональний комп'ютер і модуль зв'язку з системою телемеханіки. Доцільно інтегрувати АЛС до автоматизованого робочого місця (АРМ) енергодиспетчера. І тут можливості АГС істотно розширюються.

Зазначимо, що АЛС у процесі свого функціонування забезпечує тепловий захист проводів, впровадження якого наразі є актуальним.

### 3.3 Телевимірювання ожеледного навантаження на лініях поздовжнього електропостачання

Найважливішим засобом організації боротьби з ожеледицею є своєчасне отримання інформації про появу ожеледиці та її інтенсивності. Метеорологічні станції не забезпечують своєчасного прогнозування льодоосвіти, оскільки на появу ожеледиці впливає безліч факторів.

В даний час на лініях електропередачі застосовують дистанційні методи контролю ожеледицьких навантажень і передачі сигналу про появу ожеледиці на підстанцію або інший контрольний пункт. При появі ожеледь навантаження спрацьовує датчик і включає сигналізуючий пристрій, який передає цю інформацію по радіо, провідних лініях або проводів ЛЕП струмами високої частоти. Знайшло застосування кілька конструкцій датчиків, які спрацьовують при зміні ваги ожеледиці на спеціальному стрижні, кулі, сферичній сітці, контрольному дроті, підвішеному паралельно ЛЕП та на самому дроті ЛЕП.

При заданій величині ожеледь навантаження замикаються контакти датчика, які включають високочастотний сигналізуючий пристрій. Датчик може бути використаний в широкому діапазоні навантажень від 100 до 1350 кг. Передавач високочастотного сигнального пристрою посиляє в лінію сигнал частотою 60 кГц, модульований залежно від положення контактів датчика частотою 500 або 800 Гц. Потужність передавача 1 Вт, вона забезпечує передачу сигналу лініями 35-220 кВ на відстань до 100 км. Передавач, встановлений на одній опорі з датчиками, отримує живлення від акумуляторної батареї або від сухих батарей. Приймач встановлюють на підстанції чи монтерському пункті, який отримує живлення від мережі 220 В.

Розрахунки економічної ефективності за рахунок застосування системи оперативного багатоканального локаційного моніторингу ожеледно-морозових відкладень та пошкоджень на проводах повітряних ЛЕП здійснено у трьох варіантах:

- 1) для випадку, коли запобігли одній серйозній аварії на одній ЛЕП;
- 2) для випадку, коли доводиться визначати стан утворення ожеледиці виїздом бригади на огляд уздовж усієї ЛЕП;
- 3) порівняння з наявними системами моніторингу ожеледиці.

При економічних розрахунках враховувались витрати, що виникають у енергокомпаній через аварії:

- на визначення місця та типу пошкодження;
- на заміну пошкодженого енергетичного обладнання (опори, траверси, ізолятори, дроти, грозотроси);
- на недовідпустку електроенергії споживачам;
- на оплату робіт з виявлення аварійних ділянок та виконання ремонтних робіт;
- на пально-мастильні матеріали для автотранспорту;
- на амортизацію автотранспорту.

Враховуючі всі складові було визначено, що самий максимальний строк окупності складає 1 рік.



## ВИСНОВКИ

У представленій роботі було розглянуто і проведено розрахунки з ожеледисто-морозевих утворень на проводах ліній автоблокування та поздовжнього електропостачання. Показано особливості утворення ожеледиці та паморозі на лініях електропередач. Значний народногосподарський збиток від ожеледиці та морозу є суттєвим через недостатні знання ожеледисто-морозових проблем. В роботі представлені фотографії зроблені на Одеській залізниці, які показують, наскільки важливим є питання вивчення питання утворення та боротьби з ожеледдю.

Розрахунки показали, що найвигіднішою схемою плавки ожеледиці є схема з трифазним коротким замиканням, оскільки її час плавки становить 15 хвилин, а економічні витрати на витрачену енергію 480 грн., для середніх кліматичних умов, що показує її значну перевагу перед іншими схемами та методами плавки. Вона є найбільш надійною та рентабельною.

Також у дипломній роботі було запропоновано антиожеледну систему, впровадження якої в даний час є актуальним. Застосовувана АГС є досить економічною і відповідає високому рівню надійності.

## ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Федоров Д. И. Устройства электрификации и продольного электроснабжения. Справочно – методическое пособие ВНИИ транспортного средства. М.: Транспорт, 1982.
2. Бургсдорф В. В. Сооружение и эксплуатация линий электропередачи в сильно гололедных районах. М. Л.: Госэнергоиздат, 1947.
3. Чернышев В. Б. Проектирование электроснабжения устройств СЦБ. М.: 1961.
4. Новиков М. А. Проектирование автоблокировки на железных дорогах. М.: Транспорт, 1979.
5. Сердинов С. М. Анализ работы и повышение надежности устройств энергоснабжения электрифицированных железных дорог. М.: Транспорт, 1975.
6. Разгонов А. П. Методология повышения надежности систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Харьков, 1999.
7. Порцелан А. А. Борьба с гололедом на электрифицированных железных дорогах. М.: Транспорт, 1970.
8. Неугасов Н. М. Проектирование автоблокировки на железнодорожном транспорте. М.: Трансжелдориздат, 1958.
9. Разгонов А. П. Профилактическое обслуживание рельсовых цепей. М.: Транспорт, 1980.
10. Марквардт К. Г. Справочник по электроснабжению железных дорог. Том 2. М.: Транспорт 1981.
11. Афанасьев Е. А. Экономика и организация хозяйства сигнализации и связи. М.: Трансжелдориздат, 1959.
12. Сибаров Ю. Г. Охрана труда на железнодорожном транспорте. М.: Транспорт, 1981.
13. Туроверов К. С. К вопросу анализа существующих способов вычисления гололедных и ветровых нагрузок. № 7 – 8, 1939.

14. Справочник по электроснабжению железных дорог. Т.1/ Под ред. К. Г. Марквардта. – М.: Транспорт, 1980. – 26 с.
15. Справочник по электроснабжению железных дорог. Т.2/ Под ред. К. Г. Марквардта. – М.: Транспорт, 1980. – 26 с.
16. Корниенко В.В., Котельников А.В., Доманский В.Т. Электрификация железных дорог. Мировые тенденции и перспективы. К.: Транспорт Украины. 2004. - 196 с.
17. Транспорт Дніпропетровщини: європейський шлях розвитку/ Під заг. ред. Г. М. Кірпи. – Д.: ТОВ «ЕНЕМ», 2003. – 112 с.
18. Неклепаев Б.Н. Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. 4-е изд. – М.: Энергоатомиздат 1989.- 389 с.
19. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем / В.Э. Воротницкий, Ю.С. Железко, В.Н. Казанцев и др.: Под ред. В.Н. Казанцева. М.: Энергоатомиздат, 1983. – 268с.
20. «Вимоги до окремих видів пристроїв» ГОСТ 12.2.007.3-75 (2001) «ССБТ. Электротехнические устройства на напряжение свыше 1000 В. Требования безопасности».
21. Постол Б.Г. Нормирование расхода топлива и электрической энергии на тягу поездов за поездку. Методические указания Дальневосточный государственный университет путей сообщения, - 2002, 34 с.
22. Экономика железнодорожного транспорта/ Под ред. В.А. Дмитриева, Ф.П. Мулюкина. – М.: Транспорт, 1985. – 438 с.



Додаток А

Демонстраційні матеріали до магістерської роботи

Зниження втрат електричної енергії при боротьбі з ожеледеутворенням на  
лініях автоблокування та повздожнього електропостачання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Запорізький національний університет  
Інженерний навчально-науковий інститут  
ім. Ю.М. Потебні

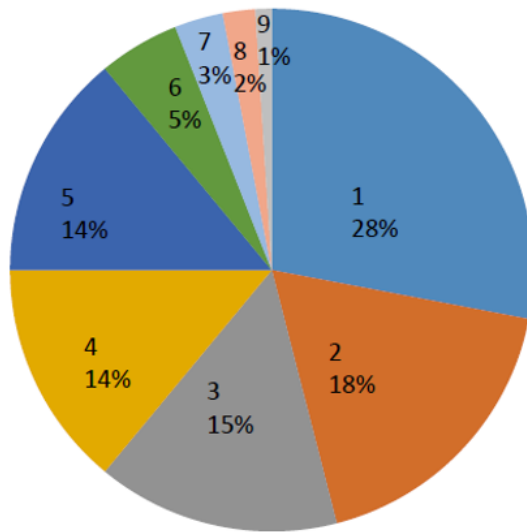
Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем

**Зниження втрат електричної енергії при боротьбі  
з ожеледеутворенням на лініях автоблокування та  
повздожнього електропостачання**

Виконав: студент гр. 8.141-з Усенко А.В.

Науковий керівник: доцент Овчинникова І.А

## Основні причини пошкоджень високовольтних ліній електропередач



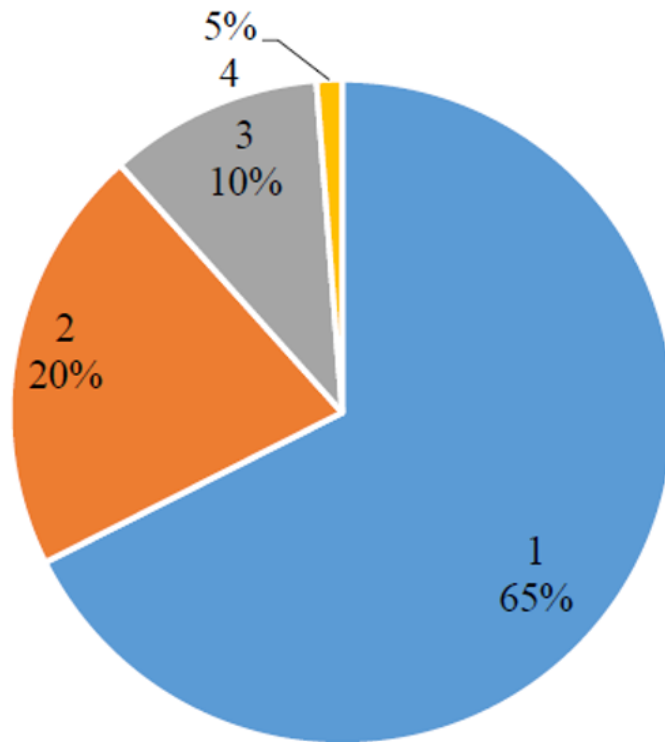
- 1 – сторонні впливи (падіння дерев, наїзди, начерки, пошкодження ізоляторів);
- 2 – ожеледь-вітрові навантаження;
- 3 – атмосферні перенапруги;
- 4 – втрата несучої здатності, знос, корозія;
- 5 – дефекти проектування, будівництва та монтажу;
- 6 – дефекти експлуатації;
- 7 – забруднення ізоляції, птиці;
- 8 – нерозрахункові режими у мережі;
- 9 – стихійні явища (землетруси, селі, зсуви і т.д.)



## Відкладення морозу на алюмінієвому дроті



## Розподіл коротких замикань за видами

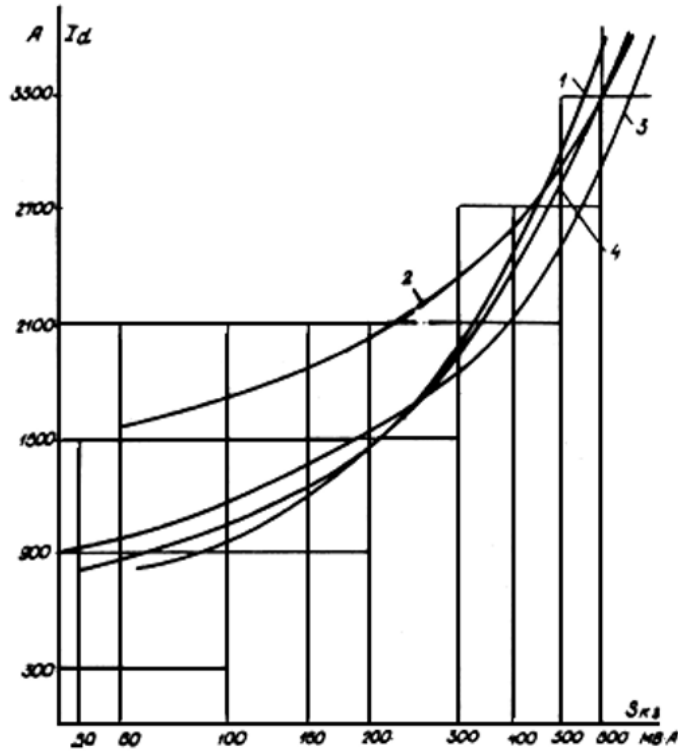


- 1 – однофазні КЗ та ОЗЗ;
- 2 - двофазні та подвійні замикання на землю;
- 3 – двофазні без землі;
- 4 – трифазні





## Допустимий струм плавки ожеледиці при паралельній роботі пристрою плавлення ожеледиці із синхронним компенсатором



- 1 – синхронний компенсатор КС 15000 – II;
- 2 - синхронний компенсатор КС 30000 - II;
- 3 – синхронний компенсатор КСВ 37500 – II;
- 4 - синхронний компенсатор КСВ 75000 - II.

## Схеми плавки від пристрою плавлення ожеледиці з одним перетворювачем для радіальних повітряних ліній

Схема "змійка"

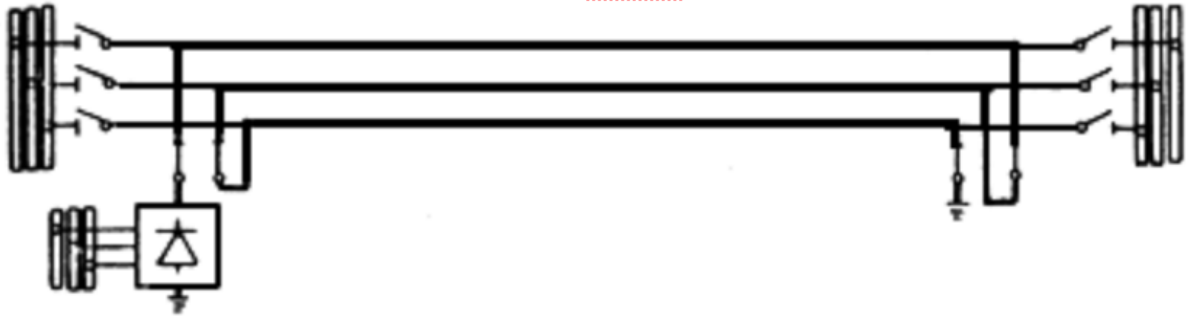


Схема "провід-два дроти"

