

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Гольцев В.В.

УДК 621.359.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Методи запобігання аваріям від ожеледиці на повітряних лініях передачі 110 кВ
(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Гольцев В. В.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Савченко Л.Г.

(прізвище, ім'я, по батькові)

к.і.н., доцент кафедри електрифікації,
автоматизації виробництва та інженерної екології
(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2024

АНОТАЦІЯ

Гольцев В.В. Методи запобігання аваріям від ожеледиці на повітряних лініях передачі 110 кВ. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

Це направлення є критично важливим завданням у сфері електроенергетики. У холодну пору року до аварійних ситуацій відносять ті ж пориви вітру, а також снігопади, які можуть призводити до налипання мокрого снігу на проводи повітряних ліній, утворюючи ожеледицю. Це може спричинити катастрофічні наслідки, великі збитки для енергопостачальних компаній, і навіть загрозу життю людей.

Розглянуто новітні методи запобігання аваріям від ожеледиці на повітряних лініях передачі та їх технічне реалізація.

Ключові слова: ожеледиця, повітряні лінії, надійність, безперебійність електропостачання.

ABSTRACT

Goltsiev V.V. Methods of Preventing Accidents from Icing on 110 kV Overhead Power Lines. Qualification work for obtaining a master's degree in the specialty 141 – Power Engineering, Electrical Engineering, and Electromechanics – Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

This area is a critically important task in the field of power engineering. During the cold season, emergency situations include wind gusts and snowfalls, which can lead to the accumulation of wet snow on the wires of overhead lines, forming ice. This can result in catastrophic consequences, significant losses for power supply companies, and even pose a threat to human life.

The methods for preventing accidents from icing on overhead power lines and their technical implementation are considered.

Keywords: icing, overhead lines, reliability, uninterrupted power supply.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИНИКНЕННЯ ОЖЕЛЕДИЦЬ НА ПРОВОДАХ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ	7
1.1 Причини виникнення ожеледиці на повітряних лініях	7
1.2 Методи моніторингу утворення ожеледиці на повітряних лініях	11
1.3 Наслідки утворення ожеледиці на ПЛ	16
Висновок по розділу	17
2. МЕТОДИ ВИДАЛЕННЯ ТА ПЛАВКИ ОЖЕЛЕДИЦІ НА ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЯХ	18
2.1 Класифікація способів плавки та видалення ожеледиці на проводах ПЛ	18
2.2 Плавка ожеледиці, заснована на термічному впливі	18
2.3 Плавка ожеледиці, заснована на термодинамічній дії	26
2.4 Видалення ожеледиці електромеханічним впливом	28
2.5 Видалення ожеледиці механічним впливом	29
Висновки по розділу	31
3. РОЗРОБКА РІШЕНЬ ЩОДО ЗАПОБІГАННЯ АВАРІЯМ ІЗ-ЗА ОЖЕЛЕДИЦІ НА ПЛ 110 КВ	32
3.1 Вибір установки плавки ожеледиці	33
3.2 Організація взаємодії за погодженням та затвердженням програм плавки ожеледиці	34
3.3 Порядок проведення плавки ожеледиці	35
Висновки по розділу	38
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	38
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	39

ВСТУП

Однією з основних вимог до електропостачання споживачів електричної енергії є надійність. Для її забезпечення необхідно проводити безліч заходів, у тому числі запобігання та усунення аварійних ситуацій.

У теплу пору року до аварійних ситуацій відносяться в основному грози, сильні пориви вітру, обрив проводів мережі або виникнення іскріння, а як наслідок, і виникнення пожежі через дотик дерев з неізольованими проводами. Способи боротьби з даними видами аварійних ситуацій вже відомі, добре вивчені та успішно застосовуються повсюдно.

У холодну пору року до аварійних ситуацій відносять ті ж пориви вітру, а також снігопади, які можуть призводити до налипання мокрого снігу на проводи повітряних ліній, утворюючи ожеледицю. Це може спричинити катастрофічні наслідки, великі збитки для енергопостачальних компаній, і навіть загрозу життю людей.

У січні 2024 року через ожеледь на дротах повітряних ліній електропередачі в Україні знеструмлено 44 населені пункти.

Причина – ожеледиця на дротах повітряних ліній електропередачі діаметром 60 - 89 мм", - йдеться в повідомленні.[4]

Такі величини не фіксувалися за період спостережень із 1945 року. Найскладніша ситуація на Кіровоградщині. Там понад добу без напруги 30 населених пунктів, загалом – майже 2,5 тисячі споживачів. Виходячи з цього, виявляється необхідність ефективної боротьби з ожеледицею на проводах ПЛ.

Небезпека утворення ожеледиці на струмопровідних частинах повітряних ліній електропередачі та грозозахисних тросів обумовлюється обривом проводів, їх схлестом внаслідок танцю, руйнуванням гірлянд ізоляторів та самих опор. Обрив живлячих проводів ПЛ 110 кВ може призводити до знеструмлення великої кількості споживачів, що не допустимо особливо в зимову пору року.

Однак, практика показує, що методів боротьби з зледенінням проводів небагато і не всі з них є досить ефективними. Даний вид аварій є

найпоширенішим у зимову пору року, і ця проблема залишається актуальною й донині.

В якості пасивного заходу боротьби з ожеледицею можуть використовуватися різні дроти підвищеної міцності. Слід також відзначити провід з Z-подібним перерізом дротів верхніх повивів, який складається з одного або декількох концентричних шарів круглих дротів (внутрішні шари) і дротів перетином у вигляді «Z» (зовнішні шари). Кожен шар дроту має скручування по довжині, виконану з певним кроком. Гладка поверхня знижує вітрові навантаження на 30-35% і перешкоджає налипанню снігу та льоду. Однак провід з Z-подібним перерізом дротів верхніх повивів має обмеження на плавку ожеледиці, не допускається тривалого підвищення температури понад 80° С [1].

У цілому ж практична реалізація пасивних методів боротьби з ожеледицею можлива лише при проектуванні та введенні в дію нових ліній електропередачі. Реконструкція «старих» ПЛ пов'язана із значними витратами.

Об'єктом дослідження є високовольтні повітряні лінії електропередачі, а **предметом** - порівняння методів видалення та плавки ожеледиці на повітряних лініях та визначення оптимальних методів.

Виходячи з вищесказаного, **метою даної роботи** є зниження аварійності ПЛ 110 кВ.

Для досягнення мети роботи проведено:

- Аналіз особливостей виникнення ожеледиць утворень на проводах повітряних ліній.
- Розгляд методів видалення та плавки ожеледиці на повітряних лініях.
- Розробка рішень щодо запобігання аваріям від ожеледиці на ПЛ 110 кВ.

Вирішення поставлених завдань дозволить визначити найбільш ефективний метод боротьби з аваріями, пов'язаними з утворенням ожеледиці на ПЛ 110.

Перелік публікацій автора за темою дослідження :

1. **Гольцев В. В ПЛАВКА ОЖЕЛЕДИЦІ, ЗАСНОВАНА НА ТЕРМОДИНАМІЧНІЙ ДІЇ 66-67с.** МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКОВО-ІННОВАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ ІНЖЕНЕРІЇ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ЕНЕРГЕТИКИ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ МАТЕРІАЛИ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ НАУКОВО-ПЕДАГОГІЧНИХ ПРАЦІВНИКІВ, ДОКТОРАНТІВ, АСПІРАНТІВ ТА ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ ФАКУЛЬТЕТУ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ЕНЕРГЕТИКИ «СТУДЕНТСЬКІ ЧИТАННЯ – 2024» 31 жовтня 2024 року м. Житомир
2. **Савченко Л. Г., Гонгало Н. В., Гольцев В. В. КОРОТКИЙ ОГЛЯД ЗАРУБІЖНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ СТАНУ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ 8-10.** МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, УКРАЇНА НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ШТАТУ ПЕНСІЛЬВАНІЯ, США УНІВЕРСИТЕТ ВІТОВТА ВЕЛИКОГО, ЛИТВА НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ ДОСЛІДНИЦЬКО-ІННОВАЦІЙНИЙ ЦЕНТР ІНСТИТУТУ АГРОІНЖЕНЕРІЇ, УГОРЩИНА ДОСЛІДНИЦЬКИЙ ІНСТИТУТ АГРОІНЖЕНЕРІЇ, ЧЕСЬКА РЕСПУБЛІКА ІНСТИТУТ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ НАН УКРАЇНИ БІОЕНЕРГЕТИЧНА АСОЦІАЦІЯ УКРАЇНИ VIII МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ «Біоенергетичні системи» МАТЕРІАЛИ 12 – 14 листопада 2024 Житомир
3. **Гольцев В. В., Чичиліук Н. В. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ПЛАВОЖЕЛЕДИЦІ 62-64с.** МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКОВО-ІННОВАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ ІНЖЕНЕРІЇ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ЕНЕРГЕТИКИ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ МАТЕРІАЛИ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ НАУКОВО-ПЕДАГОГІЧНИХ ПРАЦІВНИКІВ, ДОКТОРАНТІВ, АСПІРАНТІВ ТА ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ ФАКУЛЬТЕТУ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ЕНЕРГЕТИКИ «СТУДЕНТСЬКІ ЧИТАННЯ – 2024» 31 жовтня 2024 року м. Житомир

1. АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИНИКНЕННЯ ОЖЕЛЕДИЦЬ НА ПРОВОДАХ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ

1.1 Причини виникнення ожеледиці на повітряних лініях

«Ожеледиця, тобто щільна крижана кірка, утворюється при намерзанні переохолоджених крапель дощу, мряки або туману при температурі від 0 до -5°C на поверхні землі та різних предметів, у тому числі проводах високовольтних ліній електропередачі. Товщина ожеледиці на них може досягати 60-70 мм, суттєво обтяжуючи дроти. Прості розрахунки показують, що, наприклад, провід марки АС-185/43 діаметром 196 мм кілометрової довжини має масу 846 кг; при товщині ожеледиці 20 мм вона збільшується у 3,7 рази, при товщині 40 мм – у 9 разів, при товщині 60 мм – у 17 разів [1]. При цьому загальна маса лінії електропередач з восьми проводів кілометрової довжини зростає відповідно до 25, 60 і 115 тон, що призводить до обриву проводів і поломки металевих опор» [3].

«Виявлено, що у випадках, коли в навіколоземному шарі температура повітря близька до нуля, а на висоті до 1,5 км вище за нуль, то опади випадають у вигляді дощу, а не снігу. Краплі дощу на поверхні землі стикаються з переохолодженими предметами та замерзають (у тому числі і на проводах ПЛ). В результаті утворюється крижана кірка, що називається ожеледицею. Синоптиками доведено, що таке явище спостерігається за температури повітря поблизу поверхні землі від $+3$ до -4°C . Зазвичай при ожеледиці повітряному шарі висотою близько 1,5 км спостерігається майже стовідсоткова відносна вологість повітря [4]. У цьому випадку починається процес лавиноподібного зростання льоду, який триває протягом усього часу випадання переохолоджених опадів. Ожеледиця, що відклалася, значно збільшує масу проводів і може зберігатися на них багато діб, що є потенційною небезпекою для виникнення аварій. Крім ожеледиці, на повітряний ЛЕП може виникати зерниста паморозь у вигляді снігоподібного та пухкого льоду, яка також утворюється в туманну та вітряну погоду. Ожеледиця налипає на дроти і може

наростати досить довго, причому товщина шару також може досягати десятків сантиметрів»[1].

На рисунку 1 чітко видно відмінність діаметра дроту та кірки льоду на ньому.



Після утворення ожеледиці на проводах ПЛ холодний атмосферний фронт найчастіше змінюється на тепліший, що супроводжується рвучкими рухами повітряних мас, аеродинамічний вплив яких на проводи приводить їх у стан «резонансної танці». Дані природні явища разом і викликають ожеледиці аварії в електричних системах» [6]. Згідно з ПУЕ «При розрахунку ПЛ та їх елементів повинні враховуватися кліматичні умови вітровий тиск, товщина стінки ожеледиці, температура повітря, ступінь агресивної дії навколишнього середовища, інтенсивність грозової діяльності, танець проводів та тросів, вібрація.

Визначення розрахункових умов за вітром і ожеледице повинно проводитися на підставі відповідних карт кліматичного районування території РФ з уточненням при необхідності їх параметрів у бік збільшення або зменшення за регіональними картами та матеріалами багаторічних

спостережень гідрометеорологічних станцій та метеопостів за швидкістю вітру, масою, розмірами та видом відкладення ожеледиці. У маловивчених районах цієї мети можуть організовуватися спеціальні обстеження і спостереження» [7].

«Районування по ожеледиці здійснюється за максимальною товщиною стінки відкладення ожеледиці циліндричної форми при щільності $0,9 \text{ г/см}^3$ на дроті діаметром 10 мм, розташованому на висоті 10 м над поверхнею землі, повторюваністю 1 раз на 25 років» [7].

В ідеалізованому поданні ожеледиця намерзає на дротах, утворюючи циліндричну форму з товщиною стінки b (рисунок 2).

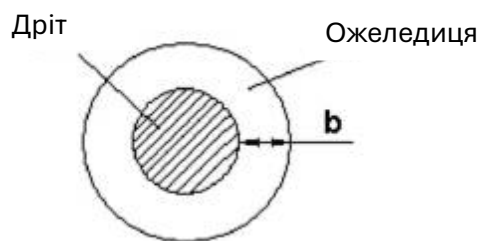


Рисунок 2. – Ідеалізоване подання ожеледиці на проводах

Існує поділ за товщиною стінки ожеледиці на 8 районів (таблиця 1).

Таблиця 1 - Районування по ожеледиці

Район	Товщина стінки b , мм
I	15
II	20
III	25
IV	30
VI	35
VII	40
Особливий	> 45

На рисунку 3 зображено карта України з районуванням по ожеледиці.

На рисунку 4 відображено районування території України за характеристичними значеннями вітрового тиску при ожеледі[8].

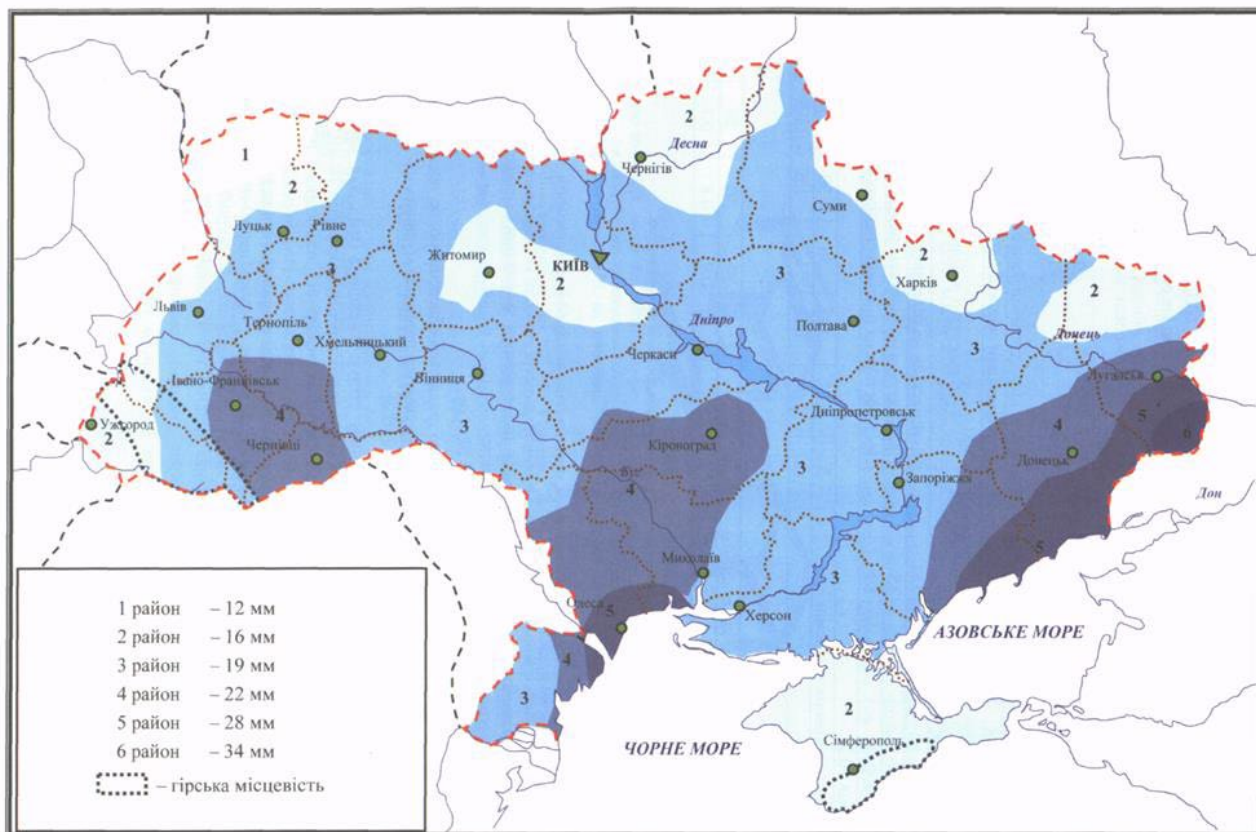


Рисунок 3. – Карта районування території України за характеристичними значеннями товщини стінки ожеледі.

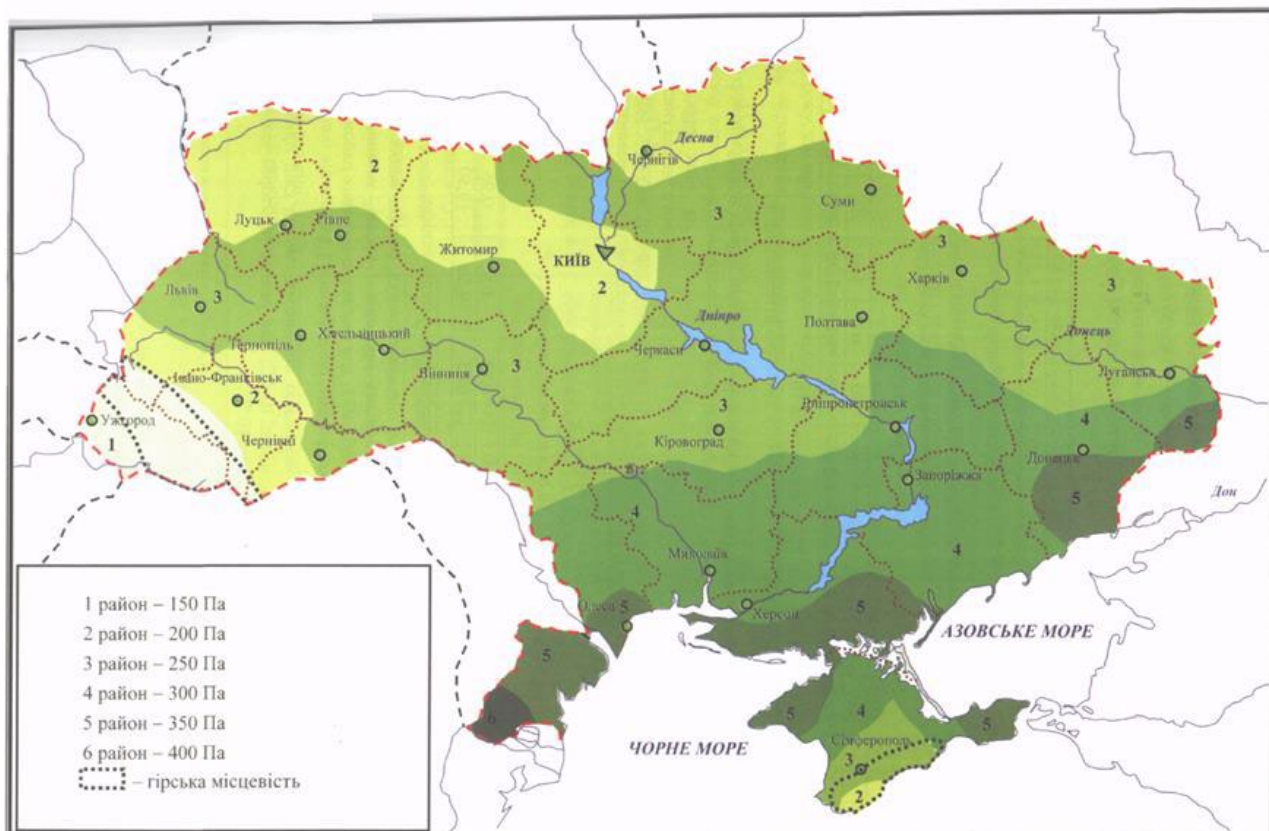


Рисунок 4. – Карта районування території України за характеристичними значеннями вітрового тиску при ожеледі.

1.2 Методи моніторингу утворення ожеледиці на повітряних лініях

В даний час застосовуються такі методи моніторингу утворення ожеледиці на проводах ПЛ:

- органолептичний (візуальний огляд ПЛ);
- інструментальний;
- аналітичний.

Найпоширенішим способом є візуальний огляд ліній. З настанням холодної пори року оперативно-виїзні бригади періодично виїжджають на огляд ПЛ щодо освіти на них ожеледиці (рисунок 4). У ті моменти, коли погодні умови погіршуються, при хуртовини, температурі повітря в межах від 0 до -10 градусів або при мокрому снігу та різкій зміні температури, кількість бригад та часовий проміжок моніторингу може збільшуватися.

Такий спосіб застосовується повсюдно, навіть якщо на ПЛ застосовуються спеціалізовані датчики ожеледиці, проте, при такому способі неможливо своєчасно отримувати інформацію про всі ділянки ПЛ, особливо, якщо лінії електромережі мають велику довжину, оскільки швидкість пересування бригад обмежена.



Рисунок 5. – Візуальний огляд ПЛ

Другим поширеним способом є інструментальний моніторинг ожеледиці на ПЛ.

Для цього способу застосовуються різні інструменти та датчики утворення ожеледиці. До таких інструментів відносять: датчики ожеледь навантаження на проводах і грозозахисних тросах, тяжіння проводу, температури та вологості повітря, швидкості та напрямки вітру, температури проводу. Також використовується спеціальне програмне забезпечення для візуалізації всіх цих параметрів [8].

«Всі механічні пристрої містять датчик ожеледь навантаження, що реагує на механічне навантаження від ожеледиці, сили тяжіння проводу, а також вітрове навантаження. Датчик підвішується між траверсою та гірляндою ізоляторів і може бути виконаний, як правило, у вигляді динамометра (зазвичай пружинного типу) або ж з використанням пружного чутливого елемента, що перетворює навантаження від ожеледиці у вихідний сигнал» [9].

З розвитком технологій з'являються нові можливості у сфері електроенергетики. Однією з таких нових технологій є застосування безпілотних апаратів для виявлення дефектів в електрообладнанні. БПЛА є літальним апаратом з прикріпленою до його основи камерою, який керується і передає інформацію про об'єкт за допомогою глобальних навігаційних систем, таких як ГЛОНАСС та GPS. На рисунку 6 представлений один із варіантів виконання БПЛА.



Рисунок 6. – Безпілотний літаючий апарат

Безпілотний літаючий апарат може бути оснащений фотокамерою, а також тепловізійною та ультрафіолетовою камерами для визначення дефектів ізоляції. Також це дозволяє проводити тепловізійну зйомку теплотрас на виявлення дефектів тепломереж, таких як порушення теплоізоляційного шару та корозії ще на початковій стадії.

Спосіб моніторингу ліній електропередачі за допомогою БПЛА полягає в наступному: зйомку апарат може проводити як в автоматичному, так і в ручному режимі, при цьому дані та зображення з камер або завантажуються на програмне забезпечення, або транслюються на пульт керування оператором в режимі реального часу.

БПЛА може передавати зображення з відривом трохи більше 30 км. Зйомку апарат здійснює з безпечної відстані від опори приблизно 3-5 м, через що не потрібно відключати обстежуване обладнання. За допомогою одного БПЛА можна обстежити до 200 км. ЛЕП на день, що значно перевищує можливості людини.



Рисунок 7. – Управління БПЛА оператором

За допомогою БПЛА можна отримати таку інформацію: метричні дані повітряних ліній, включаючи габарити та висоту підвісу проводів, фотографії опор, проводів та ізоляторів ЛЕП, а також прилеглих охоронних зон, тепловізійні знімки з можливістю точного визначення температури елемента.

Також наявність інфрачервоної камери у БПЛА дозволяє проводити тепловізійну діагностику елементів ЛЕП [10]. Даний вид діагностики дозволяє в будь-який час і без відключення обладнання виявити пошкодження на початковому етапі, коли вони не завдали значної шкоди обладнанню. У такому разі тепловізор робить знімки теплового інфрачервоного випромінювання, вловлюючи навіть мінімальні відмінності у температурі. Оператор отримує знімки елемента ЛЕП у додатку чи дисплеї (рисунок 8).



Рисунок 8. – Знімок з тепловізора БПЛА

Тепловізійна зйомка також дозволяє в холодну пору року своєчасно запобігати ожеледі аваріям на лініях електропередачі. Діагностику даним способом можна проводити на найбільш схильних до відкладення ожеледиці ділянках лінії і, при необхідності попереджати утворення занадто товстого шару льоду, включенням пристроїв плавки ожеледиці. Такий спосіб є найбільш сучасним і достовірним, однак, як і в будь-якого технічного способу, є ризик виходу з ладу будь-якого датчика, або втрати зв'язку з цими пристроями внаслідок різних аварійних ситуацій.

Третій спосіб заснований на зборі та аналізі інформації про найбільш схильні до утворення льоду ділянках ПЛ. Ожеледиця утворюється не рівномірно, наприклад, у місцевостях з підвищеною вологістю повітря ожеледиця утворюється з більшою ймовірністю. Тому, можна заздалегідь спрогнозувати, в якій місцевості найімовірніше утворюється ожеледь, і направити туди бригаду для візуального огляду, щоб своєчасно усунути льоду та унеможливити аварійну ситуацію.

Однак, недоліками такого способу є несвоєчасність виявлення ожеледиць у разі, якщо погодні умови різко зміняться, а також умови можуть змінитися, поки оперативна-виїзна бригада добирається до місця, отже, мають місце значні тимчасові витрати на виявлення та усунення ожеледиці на ПЛ.

1.3 Наслідки утворення ожеледиці на ПЛ

Утворення ожеледиці на струмопровідних частинах ПЛ і грозозахисних тросах може призвести до таких небажаних наслідків як: обрив проводів, руйнування гірлянд ізоляторів, обрив грозозахисного троса, танець проводів, пошкодження опори, схлест проводів через різке скидання льоду.

На малюнку 9 видно, наскільки може ожеледиця на проводах обтяжувати провід і призводити до сильного провису. Так як лід на фазних дротах може утворюватися нерівномірно, стріли провису дротів можуть відрізнятись на кілька метрів.



Рисунок 9. – Провис дроту з-за льоду

На рисунку 10 зображено пошкодження опори внаслідок утворення ожеледиці на проводах. Маса ожеледиці можуть значно ускладнювати конструкцію, через що навіть залізні опори можуть не витримати такого навантаження.



Рисунок 10. – Пошкодження опори внаслідок утворення льоду

Аварії, пов'язані з зледенінням проводів, можуть спричинити величезні економічні збитки. Пов'язано це як із недовідпусткою електроенергії, так і зі значними витратами на усунення наслідків цих аварій, а саме: заміна опор, заміна обірваних проводів, ізоляторів, а також обладнання, яке пошкодилося через цю аварію.

Висновки за розділом 1.

Крига на проводах ЛЕП утворюється в результаті осідання вологи на поверхні проводів при температурі навколишнього середовища від 0 до -5-С. Корка льоду при цьому може досягати істотної величини, що значно збільшує провід, а також вітер, що посилюється, може розгойдувати дроти, що в свою чергу може призвести до аварійної ситуації.

Щоб своєчасно виявити та усунути намерзання льоду на проводах ЛЕП, існують такі методи моніторингу як: візуальний огляд ПЛ, інструментальний спосіб та аналітичний.

Зледеніння ЛЕП може призводити до наступних наслідків: обрив проводів, руйнування ізоляторів, обрив грозозахисного троса, пошкодження опори, схлест проводів, що призводить до короткого замикання.

2. МЕТОДИ ВИДАЛЕННЯ ТА ПЛАВКИ ОЖЕЛЕДИЦІ НА ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЯХ

2.1 Класифікація способів плавки та видалення ожеледиці на проводах ПЛ

На сьогоднішній день існує кілька способів боротьби з утворенням ожеледиці на проводах ПЛ.

Однак, кожен із цих способів має ряд переваг та недоліків, які необхідно враховувати при виборі необхідного способу для конкретного підприємства.

До традиційних активних методів можна віднести плавку ожеледиці на проводах ПЛ змінним струмом шляхом штучного створення коротких замикань або постійним струмом з використанням некерованих або керованих блоків .

Нові засоби боротьби з ожеледицею на проводах ПЛ передбачають використання комбінованих перетворювальних установок, здатних при необхідності здійснювати плавку ожеледиці, а решту часу – компенсацію реактивної потужності. Також на невеликих ділянках ПЛ можливе видалення ожеледиць механічним способом. Нижче наведено загальну класифікацію способів боротьби з ожеледицею, залежно від виду впливу:

- термічний вплив;
- термодинамічний вплив;
- електромеханічний вплив;
- механічна дія.

2.2 Плавка ожеледиці, заснована на термічному впливі

«Плавка ожеледиці змінним струмом застосовується на ПЛ напругою нижче 220 кВ з проводами перетином менше 240 мм². Джерелом живлення є, як правило, шини 6 – 10 кВ підстанцій або окремий трансформатор. Схема плавки ожеледиці повинна вибиратися таким чином, щоб забезпечити протікання по проводах ПЛ струму в 1,5 - 2 рази, що перевищує тривало допустимий струм. Таке перевищення виправдане короткочасністю процесу плавки (приблизно 1 год), а також інтенсивнішим охолодженням проводу в зимовий період. Для сталевалюмінієвих проводів типу АС перетином 50 – 185 мм² орієнтовний рівень одногодинного струму плавки ожеледиці лежить у межах 270 – 600 А, а струму, що запобігає утворенню ожеледиці на проводах, – в межах 160 – 375 А» [11].

Необхідний рівень струму короткого замикання найчастіше неможливо підібрати лише рахунок вибору схеми плавки ожеледиці. Підвищення струму плавки понад зазначені значення може призвести до пропалювання проводів, що у свою чергу спричинить незворотну втрату їх міцності. Однак меншої величини струму короткого замикання одноразового пропускання для повного видалення ожеледиці може виявитися недостатньо. Це в свою чергу спричинить багаторазове пропускання струмів короткого замикання, що може призвести до гірших наслідків.

Щоб уникнути негативних наслідків для ПЛ, можна використовувати тиристорний регулятор змінної напруги, схема якого представлена на рисунку 11 [12].

«У режимі плавки ожеледиці вимикач 7 вимкнений, вимикач 8 увімкнений. Можливі способи регулювання струму плавки - імпульсно-фазовий за допомогою зміни кутів включення силових тиристорів 1 - 3 або широтно-імпульсний - за допомогою зміни числа надавання періодів напруги» [13].

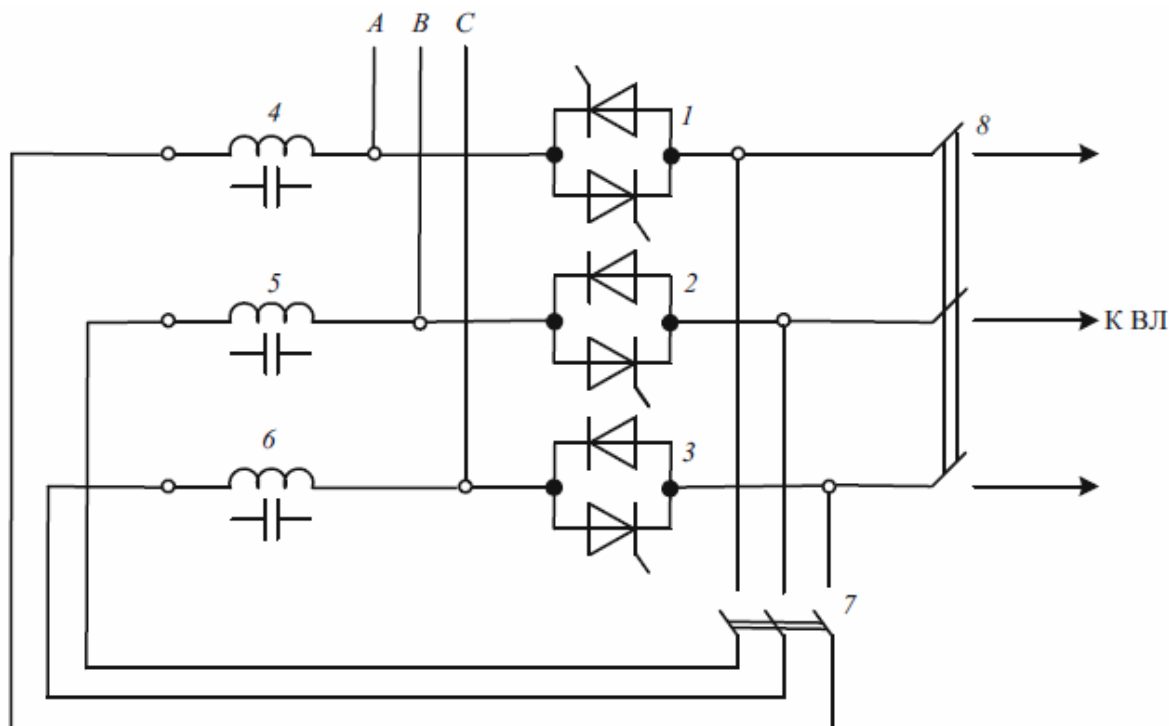


Рисунок 11 - Установка для компенсації реактивної потужності та плавки
ожеlediці

«У режимі компенсації реактивної потужності вимикач 7 увімкнений, а вимикач 8 вимкнений. В цьому випадку силові тиристори 1 - 3 і реактори 4 - 6 утворюють тиристорно-реакторну групу, з'єднану в трикутник, яка є елементом статичного тиристорного компенсатора.

Допускається можливість використання конденсаторів замість реакторів. У цьому випадку компенсація реактивної потужності здійснюватиметься за допомогою регульованої конденсаторної батареї» [14].

Однак варто відзначити, що незалежно від способу регулювання процес плавки ожеlediці здійснюється змінним струмом промислової частоти, що вимагає великих значень потужностей джерела живлення (десятки МВА), так як індуктивний опір проводів повітряної лінії значно більший за активний опір.

Велике реактивне навантаження зумовлює збільшення повної потужності джерела. Щоб підвищити ефективність плавки, необхідно використовувати поздовжню компенсацію ємнісну індуктивного опору у разі використання конденсаторів у складі установки. Заслужовує на увагу комбінована установка

для компенсації реактивної потужності та плавки ожеледиці, схема якої представлена на рисунку 12.

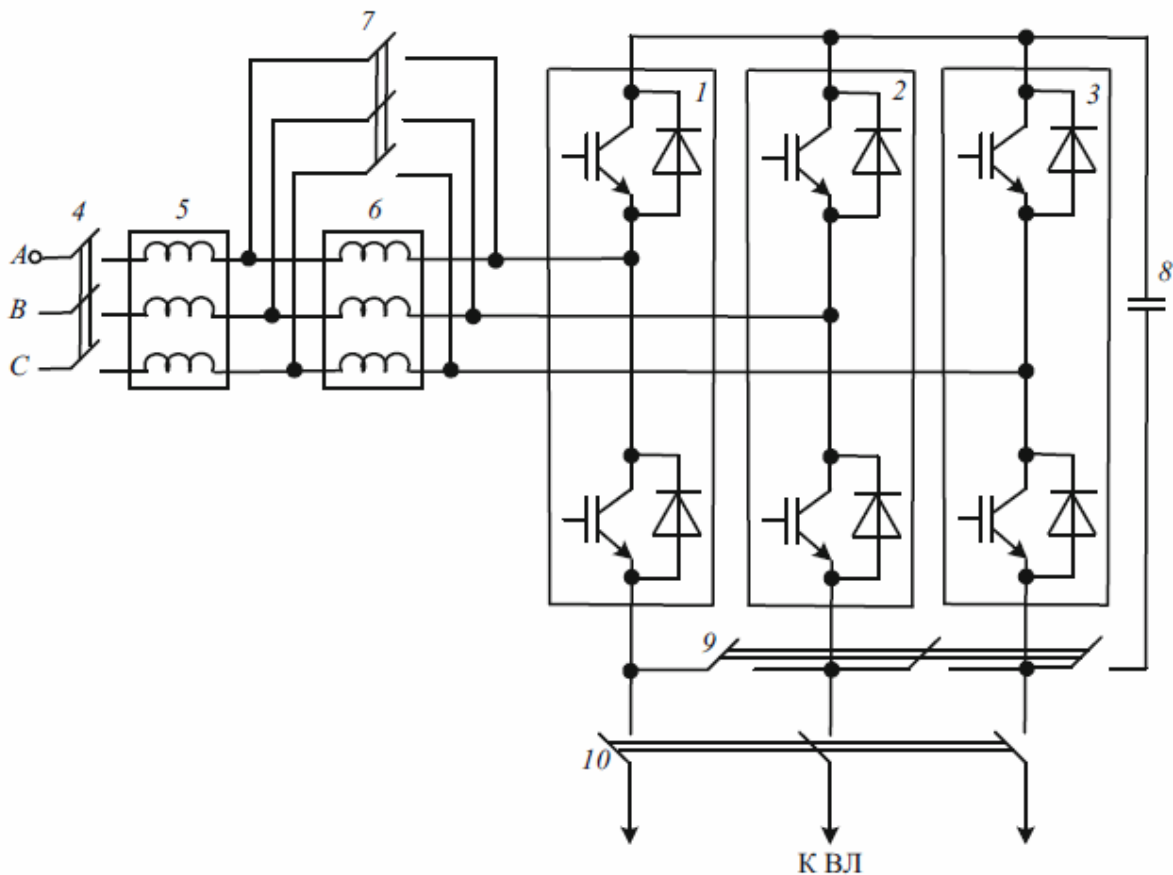


Рисунок 12. - Комбінована установка для реактивної компенсації потужності та плавки ожеледиці.

«У режимі плавки ожеледиці вимикач 7, реактор, що шунтує 6, включений, вимикач 9 відключає конденсаторну батарею 8, вимикач 10 включений.

При цьому можливе плавлення на всіх проводах повітряної лінії одночасно» [15].

«У режимі компенсації реактивної потужності вимикачі 7 та 10 відключені, а вимикач 9 включений.

В результаті утворюється типова схема статичного компенсатора на базі транзисторних модулів 1 - 3, реакторів 5, 6 на стороні змінного струму та конденсаторної батареї 8 на стороні постійного струму. Така структура може

складання 9 або 14 підключається в режимі ШІМ. У цьому короткочасно утворюється контур двофазного короткого замикання 9 – 10 чи 13 – 14. Навантаження шунтується, і струм плавлення регулюється. Швидкість наростання струму короткого замикання обмежується реактором 3. За рахунок вибору частоти та коефіцієнта модуляції ШІМ замикання тиристора відбувається раніше збільшення струму короткого замикання до небезпечного рівня. При цьому інтервал провідності тиристора менший, ніж у режимі компенсації реактивної потужності. У названому режимі роз'єднувачі 6, 7 та 16 вимкнені. Високовольтний мостовий перетворювач 4 працює в режимі «СТАТКОМ» [17].

Як показує практика електропостачальних організацій, покрито ожеледицею лише від 7 до 30 % довжини дроту, що нагрівається під час плавки. Так відбувається за рахунок різних кутів повороту та непередбачуваності напрямку вітру в момент утворення ожеледиці, таким чином, ділянки ПЛ опиняються у різних кліматичних умовах. Відповідно, при плавці ожеледиці, більшість електроенергії витрачається марно. У зв'язку з цим, має сенс застосування мобільної установки плавки ожеледиці, яка дозволяє локально ліквідувати зледеніння на ділянках ПЛ [18].

«Мобільний генератор для плавки ожеледиці на проводах ПЛ виконується на автомобільній платформі, живлення (0,4 кВ) трифазного випрямного моста здійснюється від двох дизель-генераторів ADV320 потужністю 320 кВт кожен. Передбачені провідники з клемми для підключення до проводів ПЛ та електричні шини для з'єднання проводів на прольоті між опорами за схемою плавки ожеледиці [19]. Розглянуте технічне рішення забезпечує плавку ожеледиці на довжині двох прольотів повітряної лінії на фазних проводах та грозозахисному тросі.

«Загальним недоліком всіх пристроїв, що реалізують термічний вплив постійним струмом, є необхідність застосування схеми плавки ожеледиці

«провід – провід» або «провід – два дроти». У будь-якому випадку збільшується час плавки і, відповідно, витрати електроенергії. Для зменшення часу плавки перевагу слід було б віддати схемі плавки «три дроти — земля», проте заземлювальні пристрої підстанцій не розраховані, як правило, на порівняно тривале перебіг постійного струму, що досягає 2000 А» [19].

Розглянемо термічну дію струмом ультранизкої частоти. Забезпечення даного способу полягає у проведенні плавки ожеледиця струмом низької частоти, який формується трифазним автономним інвертором напруги, а зміною напруги живлення задають та підтримують ефективне значення струму плавки на необхідному рівні.

Коли частота вихідної напруги автономного інвертора становить десятки Гц і менше, струм проводах лінії обмежується тільки активним опором. Виходячи з цього, збільшується допустима довжина повітряної лінії порівняно з плавкою змінним струмом промислової частоти, а також спрощується організація плавки, скорочується тривалість процесу плавлення ожеледиці, зменшується кількість додаткового комутаційного обладнання.

Схема комбінованої установки для плавки ожеледиці та компенсації реактивної потужності, що реалізує запропонований спосіб, представлена на рисунку 14.

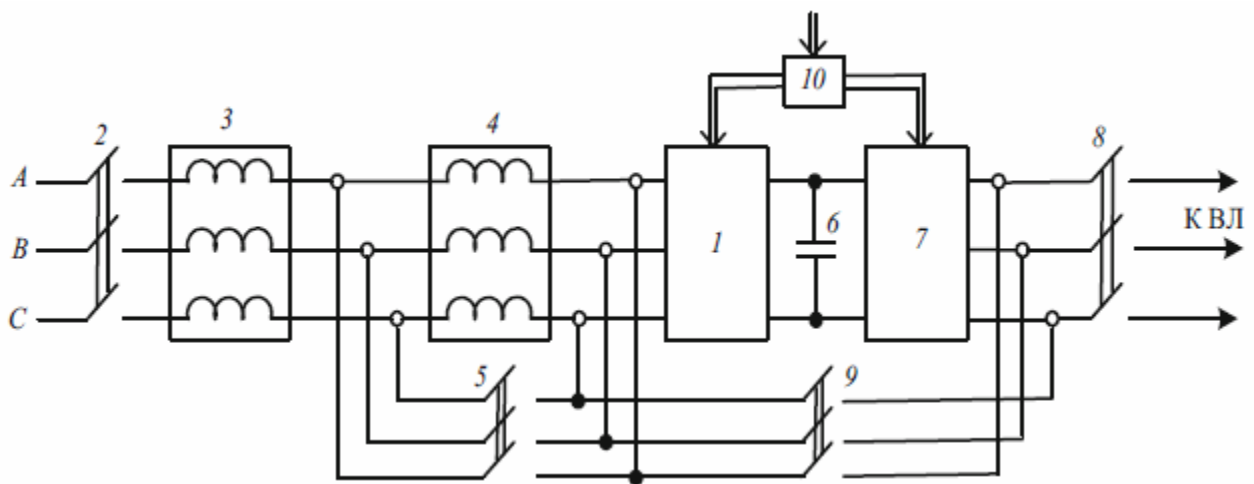


Рисунок 14. - Комбінована установка для плавки ожеледиці струмом ультранизкої частоти та компенсації реактивної потужності

«До складу комбінованої установки входять трифазні мостові перетворювачі на повністю керованих напівпровідникових ключах 1 і 7, триполюсні вимикачі 2, 5, 8, 9, трифазні дроселі 3, 4, конденсаторна батарея 6 і система керування 10» [20].

«У режимі плавки ожеледиці вимикачі 5 та 8 включені, а вимикач 9 вимкнено. Мостовий перетворювач 1 функціонує в режимі випрямляча, а мостовий перетворювач 7 - в режимі трифазного автономного інвертора напруги. Плавка здійснюється одночасно на трьох дротах повітряної лінії. У режимі компенсації реактивної потужності вимикачі 5 та 8 вимкнені, а вимикач 9 включений. Мостові перетворювачі 1 та 7 працюють паралельно» [20].

«Кут включення α вибирається трохи менше 180° . З мережі споживається активна потужність, необхідна підтримки напруги на конденсаторної батареї 6. На стороні мостових перетворювачів 1 і 7 змінного струму формується змінна напруга. Фаза першої гармоніки зрушена по відношенню до фазних напруг джерела живлення на кут $\beta = (180^\circ - \alpha)$. Якщо амплітуда першої гармоніки напруги, що формується, перевищує амплітуду напруги джерела живлення, то мостові перетворювачі 1 і 7 генерують реактивну потужність, а якщо менше - споживають реактивну потужність. Зміною коефіцієнта модуляції високочастотної ШІМ регулюють амплітуду першої гармоніки напруги, що формується, а, отже, величину і напрямок реактивної потужності »[20].

Розглянемо термічний вплив струмом високої частоти. Метод полягає в тому, що без відключення споживачів на фазні дроти через узгоджуючий пристрій та високовольтні конденсатори зв'язку подається від генератора струм частотою 50 – 500 МГц [21].

«У однорідному провіднику змінний струм концентрується в поверхневому шарі, утончення якого зі зростанням частоти веде до збільшення опору тієї частини провідника, якою проходить струм. Це означає, що при однаковому

струмі, що протікає по дроту, чим вище значення частоти сигналу, тим більше теплова потужність, що розсіюється на провіднику. Наприклад, при $f \geq 100$ МГц опір алюмінієвих проводів зростає у 600 разів і навіть більше» [22].

Нагрів дроту на $10 - 20$ °С можливий за потужності високочастотного генератора в кілька десятків кіловат, що має запобігти утворенню ожеледиці на дротах. Проте, для плавки вже утвореного ожеледиці потрібно, нагрівання дроту до температури $100 - 180$ °С. Це у свою чергу призведе до значного збільшення витрат електроенергії та збільшення тривалості процесу плавки. Тому даний спосіб найбільш доцільно застосовувати тільки в профілактичних цілях для запобігання ожеледоутворення, так як даний спосіб не передбачає відключення споживачів. Однак використання генераторів з діапазоном частот $87,5 - 108$ МГц, необхідного для даного способу, загрожує небезпекою створення інтенсивних радіоперешкод в ультракороткохвильовому діапазоні.

2.3 Плавка ожеледиці, заснована на термодинамічній дії

Підігрів дроту струмом високої частоти дозволяє перешкоджати утворенню ожеледиці на ПЛ, а також полегшувати процес видалення ожеледиці, що вже утворилися.

Даний спосіб являє собою попередній розігрів дроту та подальший вплив потужного імпульсу струму. Провід розігрівається до моменту підтоплення ожеледиці між дротом і крижаним прошарком, а потім дроти «струшуються» потужним імпульсом струму, що викликає механічний резонанс. Це, зокрема, використано в пристрої, схема якого представлена на рисунку 15 [23].

«Автоматизоване робоче місце АРМ диспетчера 6 та контролер 5 забезпечують безперебійну роботу підстанції з відображенням оперативної інформації на світловому табло 7» [23].

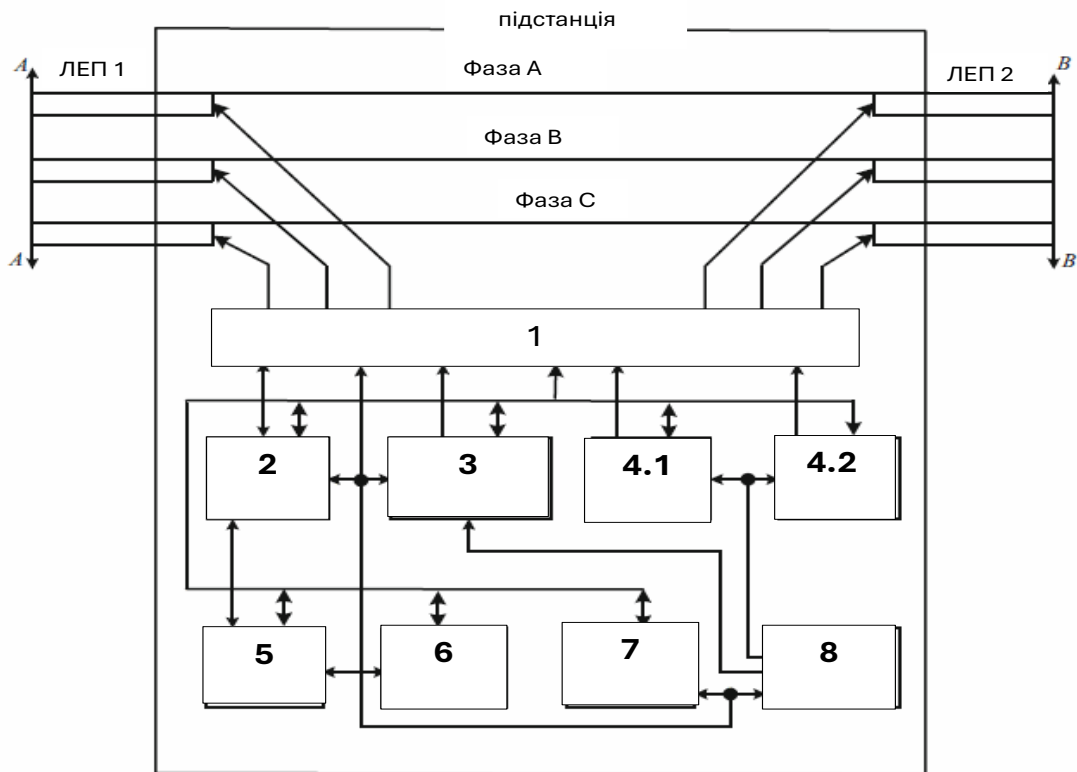


Рисунок 15 - Пристрій для видалення сніжно-льодового покриття з дротів ліній електропередачі

Де:

- 1 – Комутатор силової електроніки в ланцюгах передачі електроенергії.
- 2 – Відбивач.
- 3 – Генератор ВЧ і імпульсного струму. Інвертор 150 кГц.
- 4.1 – Генератор потужних імпульсів струму.
- 4.2 – Генератор імпульсів струму великої потужності.
- 5. – Контролер.
- 6. – АРМ диспетчера.
- 7. – Табло.
- 8. – Блок живлення.(+4 кВ, 2 кВ, +36 кВ)

2.4 Видалення ожеледиці електромеханічним впливом

Під дією сили Ампера, що виникає, при протіканні струму паралельні дроти притягуються або відштовхуються. Якщо періодично пропускати імпульси струму по проводах ПЛ, вони будуть здійснювати механічні коливання, які дозволять зруйнувати ожеледь-морозиві відкладення. «Частота імпульсів струму має бути близькою до механічного резонансу з амплітудою, достатньою для подолання зовнішніх та внутрішніх сил тертя. Зміна струму, що пропускається, може бути строго періодичним, мати частоту, що коливається, змінюватися за гармонічним законом, мати форму пачок імпульсів із заданими законами зміни частоти, амплітуди і шпаруватості» [23]. «На рисунку 16 наведено один із можливих варіантів реалізації автоматизованої системи видалення ожеледиці, що реалізують запропонований спосіб» [24].

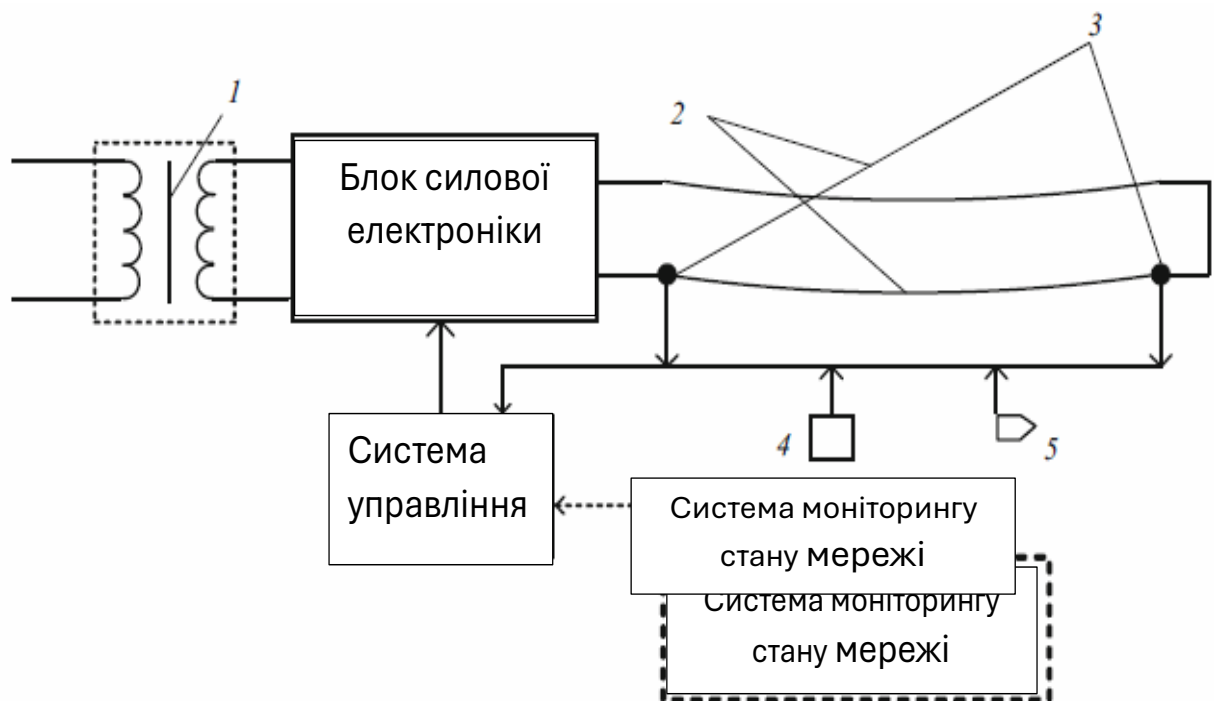


Рисунок 16 - Система електромеханічного впливу на дроти повітряної лінії для видалення ожеледиці.

«Силовий трансформатор 1 перетворює напругу живлення до необхідного рівня. Блок силової електроніки випрямляє отримане від силового трансформатора 1 напруга і формує імпульси струму необхідної величини, форми та частоти, що пропускаються через дроти 2 повітряної лінії. Система управління, що є програмованим логічний контролер, обробляє інформацію із зовнішніх датчиків ожеледно-вітрових навантажень 3, вологості 4 і температури 5, ставить необхідну форму і частоту імпульсів струму для блоку силової електроніки і керує роботою системи в цілому» [25].

На практиці, щоб уникнути можливих негативних наслідків резонансу, необхідний ретельний та точний розрахунок рівня та частоти імпульсів струму. Пропускати імпульси слід за проводами, що лежать на різних рівнях, щоб підвищити ефективність руйнування ожеледиці. Додатковим руйнівним чинником виступають сила тяжкості та інерція льоду при його падінні.

До недоліків цього способу можна віднести необхідність відключення ПЛ. Однак позитивною стороною даного методу є менша тривалість часу, що витрачається, порівняно з плавкою. Відповідно, витрати електроенергії порівняно менші.

2.5 Видалення ожеледиці механічним впливом

Механічний спосіб передбачає застосування спеціальних інструментів, якими крижані відкладення збиваються з дротів. Найпростіший спосіб механічного видалення ожеледиці - збивання за допомогою довгих жердин. Оббивка здійснюється бічними ударами, що викликають хвилеподібне коливання дроту. Однак для цього способу необхідний доступ до ПЛ, отже, частина споживачів буде відключена.

Видалення ожеледиці механічним способом може здійснюватися із землі або вишок і майданчиків, встановлених на механізми або транспортні засоби. Для оббивки використовуються дерев'яні, бамбукові, склопластикові або бакелітові жердини. Шест для оббивки з землі повинен мати довжину від 5 до 8

м на верхньому кінці на довжині 2 м, починаючи від верхнього зрізу, повинен бути обплетений виток до витка алюмінієвим дротом діаметром від 2 до 3 мм. Шест для оббивки з механізмів може мати довжину від 1,5 до 2 м і обплітається алюмінієвим дротом весь, за винятком ділянки, призначеної для його утримання. Оббивка здійснюється бічними ударами, що викликають хвилеподібне колювання дроту, при цьому ожеледиці ламаються і обсипаються [15].

«Видалення ожеледиці з проводів жердинами практично неможливе без великої кількості робітників. Цей метод вимагає багато часу і застосовується лише на коротких ділянках ліній, через що здебільшого визнається недоцільним.

Тому в даний час найбільш поширеним способом боротьби з ожеледицею на проводах ЛЕП є плавка ожеледиці змінним або постійним струмом великої величини протягом тривалого періоду часу (близько 100 хвилин і більше). При цьому витрачається значна кількість енергії і потрібно відключити лінію від споживачів на тривалий термін» [25].

«Відомий спосіб переміщення проводами повітряних ліній електропередачі засобів для видалення льоду – роликів-льодорізів, заснований на використанні трактора, пов'язаного з роликами-льодорізами за допомогою штанги.

Пристрій для здійснення цього способу містить встановлені на транспортному засобі штанги за кількістю проводів, що очищаються, із закріпленими на них засобами для видалення льоду, а саме роликами-льодорізами. Штанги, закріплені на транспортному засобі – тракторі, переміщують під проводами вздовж лінії електропередачі. При цьому ролик-льодорізи, нагочуючись на ділянки проводів, покритих ожеледицею, послідовно піднімають і перегинають їх, руйнуючи ожеледі відкладення на проводах і очищаючи їх.

Недоліком таких рішень є низька продуктивність та можливість пошкодження та деформації проводів у процесі видалення ожеледиці, що призводить до обривів мережі та супроводжується прискореним зносом проводів, невисока ефективність видалення льоду внаслідок використання трактора.

Крім використання традиційних механічних методів боротьби з ожеледицею, в даний час активно розробляються різні механічні та робототехнічні системи для визначення появи льоду та його видалення з проводів ЛЕП» [25].

До недоліків механічного способу можна віднести високі трудовитрати, неможливість здійснювати очищення ПЛ без відключення споживачів, а також той факт, що такий спосіб ефективний тільки для видалення ожеледиці на проводах, а не його попередження, а отже, для своєчасної оббивки необхідно здійснювати безперервний моніторинг за утворенням ожеледиці, що потребує залучення більшої кількості персоналу та техніки, або застосування спеціальних датчиків ожеледиці, які будуть своєчасно надавати інформацію для ухвалення рішення про необхідність видалення ожеледиці на дротах.

При цьому також існує ризик обриву проводів при несвоєчасному видаленні льоду.

До переваг даного способу можна віднести невисоку вартість і можливість швидкого видалення ожеледь відкладень при їх нерівномірному налипанні на ПЛ.

Висновки за розділом 2.

Існує кілька методів видалення ожеледиці, вони ґрунтуються на таких типах впливу як: термічне; термодинамічний; електромеханічне та механічне.

Кожен із методів має ряд переваг та недоліків. Наприклад, методи, що включають механічну дію, мають на увазі знеструмлення ПЛ, що є недоліком,

т.к. це може призвести до матеріальних збитків від недовідпустки електроенергії.

Метод, заснований на термодинамічній дії, полягає в попередньому розігріві дроту з наступним термодинамічним удар, через який відбувається скидання льоду з проводів. Отже, у разі частого утворення ожеледь муфти, недоліком такого способу є прискорене зношування дроту через частого впливу термодинамічних ударів.

Найбільш дієвим методом є плавка, заснована на термічному впливі, що здійснюється змінним або постійним струмом, а також струмом низької та високої частоти.

3. РОЗРОБКА РІШЕНЬ ЩОДО ЗАПОБІГАННЯ АВАРІЯМ ІЗ-ЗА ОЖЕЛЕДИЦІ НА ПЛ 110 КВ

3.1 Вибір установки плавки ожеледиці

Найбільш ефективним способом боротьби з ожеледицею на ПЛ є плавка постійним струмом. Для цієї мети використовуються установки типу ВКПГ (випрямляч керований плавки ожеледиці), які мають ряд переваг:

- можливість регулювання струму плавки, в тому числі і сигналів з датчиків ожеледиці;
- плавний пуск та відключення випрямляча, що дозволяє уникнути перенапруги та полегшує роботу комутаційної апаратури;
- підтримка сталості струму плавки, що особливо важливо при плавці ожеледиці на грозозахисних тросах з оптичним кабелем;
- цифрова мікропроцесорна система управління, регулювання, захисту та автоматики (СУРЗА);
- контейнерне виконання з примусовою повітряною замкнутою системою охолодження;
- вимірювальні трансформатори струму та напруги розміщені усередині контейнера;

- мінімальний монтаж на об'єкті (потрібні лише легкий фундамент під контейнер та кабельний канал між МВ та шафою СУРЗА);
- можливість залізничну платформу або інший вид транспорту (контейнер є одночасно і корпусом ВКПГ, і тарою).

Вибір установки плавки ожеледиці проводиться за основними параметрами лінії, на якій проводитиметься плавка. Наприклад розглянемо лінію ПЛ 110 кВ (таблиця 5).

Таблиця 5 – Основні параметри лінії ПЛ 110 кВ –номінальні значення прийнятої ВКПГ

Параметр	Значення	Номінальне значення прийнятої ВКПГ
$U_{н.вх}$, кВ	6	10
$U_{н.вих.ВКПГ}$, кВ	13,95	14
$I_{к.ВКПГ}$, А	974	1200
P_n , МВт	15,48	16,8

Виходячи з наведених даних, вибираємо до встановлення ВУПГ з номінальним струмом 1200 А, $U_{н.вх} = 10$ кВ, $U_{н.вих} = 14$ кВ, $P_n = 16.8$ МВт та підключення її до мережі $U_n = 6$ кВ.

Основні технічні характеристики ВУПГ-14/1200 представлені таблиці 6.

Таблиця 6 - Основні технічні характеристики ВУПГ-14/1200

Тип установки	ВУПГ-14/1200
номінальна входна напруга, кВ	10
номінальна випрямлена напруга, кВ	до 14
номінальна потужність, МВт	16,8
номінальний випрямлений струм, А	1200

максимально допустимий випрямлений струм, А	1400
діапазон вимірювання випрямленого струму, А	100-1200
тип тиристора	T273-1250-44
напруга харчування власних потреб,	-380, 3 фази
температура зберігання, -С	- 45 - +45
температура експлуатації, -С	- 10 - +10
охолодження	повітряне примусове, замкнене
габаритні розміри контейнера, мм	не більше 6060-2440-2590
габаритні розміри блоку сурза, мм	не більше 600-760-350
маса контейнерної установки, т	не більше 4
маса блоку СУРЗА, кг	не більше 25

3.2 Організація взаємодії за погодженням та затвердженням програм плавки ожеледиці

Плавка ожеледиці здійснюється за програмами плавки ожеледиці (ППО), затвердженими технічним керівником організації – власником ЛЕП та погодженим із суб'єктами електроенергетики, ЛЕП або обладнання ПС яких задіяно у схемах плавки ожеледиці (СПО), а також з диспетчерським центром (ДЦ), задіяні у схемах плавки ожеледиці.

Програми та схеми плавки ожеледиці на ЛЕП мають відповідати «Вимогам щодо плавки ожеледиці на проводах та грозозахисних тросах ліній електропередачі» [26].

Послідовність операцій при виробництві перемикачів для здійснення плавки ожеледиці на проводах та грозозахисних тросах ліній електропередачі наводиться в ППО, що застосовується оперативним

диспетчерським персоналом диспетчерського центру суб'єкта оперативна-диспетчерського управління в електроенергетиці.

Програма плавки ожеледиці повинна містити посилання на програми (типові програми) перемикачів з виведення з роботи та введення в роботу ЛЕП для здійснення плавки ожеледиці, що розробляються для ЛЕП, що знаходяться в диспетчерському управлінні, або центром управління мережами мережевої організації для ЛЕП.

На основі ППО повинні розроблятися бланки (типові бланки) перемикачів з підготовки СПО, плавки ожеледиці (включаючи операції з вимикачами плавки ожеледиці, роз'єднувачами плавки ожеледиці, роз'єднувачами плавки ожеледиці, що заземлюють) і відновлення схеми об'єктів електроенергетики.

ППО на проводах та грозозахисних тросах ЛЕП узгоджуються всіма суб'єктами електроенергетики (споживачами електричної енергії), обладнання яких задіяне в операціях з виробництва перемикачів для здійснення плавки ожеледиці на проводах та грозозахисних тросах ЛЕП.

ППО на дротах та грозозахисних тросах ЛЕП узгоджуються з диспетчерським центром, які безпосередньо беруть участь у процесі виробництва перемикачів за цією програмою плавки ожеледиці. Погодження ППО з ДЦ, які беруть участь лише у підготовці електроенергетичного режиму шляхом виконання схемна-режимних та режимна-балансових заходів на час виробництва перемикачів та відключеного стану відповідної ЛЕП, не потрібне.

ППО повинні відповідати рекомендованій формі Типової програми плавки ожеледиці на проводах та грозозахисних тросах ліній електропередачі.

3.3 Порядок проведення плавки ожеледиці

Рішення про необхідність проведення плавки ожеледиці приймається організацією, що експлуатує. Головний інженер залежно від розмірів та інтенсивності наростання ожеледиць:

- організує спостереження на всіх ділянках можливого виникнення ожеледиці;
- приймає рішення про виклик на диспетчерський пункт оперативної-диспетчерської служби необхідних спеціалістів та призначають відповідальних чергових по підприємству з постійним перебуванням на робочих місцях.

При появі на ЛЕП ожеледиці, що загрожують цілісності лінії, начальником служби повітряних ліній подається заявка диспетчеру на виведення з роботи відповідної ЛЕП щодо плавки ожеледиці.

Послідовність операцій при виробництві перемикачів для здійснення плавки ожеледиці на проводах та грозозахисних тросах ліній електропередачі має відповідати затвердженій програмі плавки ожеледиці.

Перемикач для плавки ожеледиці на грозозахисних тросах ЛЕП повинні здійснюватися з дозволу диспетчерського центру, у веденні якого знаходяться зазначені ЛЕП.

У диспетчерській заявці у полі «Оперативні вказівки» має бути зазначений номер та дата затвердження ППО, за якою здійснюється плавка ожеледиці.

При передачі повідомлення в ДЦ про необхідність плавки ожеледиці (при подачі диспетчерської заявки на проведення плавки ожеледиці) організація, яка експлуатує ЛЕП, повинна повідомити:

- місце утворення ДІВ (номери опор, у прольотах яких спостерігається ожеледиця);
- характер та вид ожеледиці відповідно до Таблиці;
- вага ожеледиці (за наявності на ПЛ датчиків автоматизованої інформаційної системи контролю навантаження від ожеледиці);
- погодні умови (температура повітря та швидкість вітру) в районі утворення ожеледиці трасою ЛЕП.

Інформація про початок плавки ожеледиці, струм плавки та напрузі повинна бути доведена до диспетчерського (оперативного) персоналу, що здійснює координацію плавки ожеледиці. Відразу після включення, оперативний персонал об'єкта електроенергетики, звідки здійснюється плавка ожеледиці, повинен повідомити про початок плавки ожеледиці (час початку, струм і напруга плавки ожеледиці), всі організації які в цьому зацікавлені.

При передачі повідомлення в ДЦ після закінчення плавки ожеледиці організація, яка експлуатує ЛЕП, повинна також повідомити:

- час початку та закінчення плавки ожеледиці;
- струм плавки;
- напруга джерела плавки;
- температура дроту або грозозахисного троса (за наявності відповідних приладів);
- номер ППО, за якою здійснювалася плавка ожеледиці.

Включення роз'єднувача, ВПО, що закорочує роз'єднувача плавки ожеледиці, повинно виконуватися за командою диспетчерського або час початку та закінчення плавки ожеледиці; струм плавки; напруга джерела плавки; температура дроту або грозозахисного троса (за наявності оперативного персоналу, що здійснює координацію перемикачів для плавки ожеледиці за ППО.

Якщо при закінченні розрахункового часу плавки ожеледиці ожеледиця не проплавлена, то момент припинення плавки ожеледиці визначається технічним керівником підприємства (відповідно до балансової приналежності).

Інформація про припинення плавки через опад ожеледиці повинна повідомлятися оперативному персоналу об'єкта електроенергетики, на якому розташований вимикач плавки ожеледиці.

При отриманні прогнозу про можливість випадання «крижаного дощу», або фактичні несприятливі метеоумови, що сприяють випаданню «крижаного дощу» (дощ, мокрий сніг, мряка при негативній температурі повітря з

можливістю утворення ожеледиці, у тому числі з виникненням «крила», налипанням мокрого снігу на дроти, поривчастого вітру) організувати збір інформації:

- з місць базування оперативного персоналу;
- від районних РЕС; від підрозділів МНС;
- об'єктів генерації;
- від великих споживачів (залізниця, газо-, нафто-, аміакопроводи);
- від дорожніх служб;
- від адміністрації районів та поселень;
- з інших джерел інформації.

При отриманні зазначеної інформації негайно організувати огляд ЛЕП, розташованих у місцях випадання «крижаного дощу».

Висновки за розділом.

Найбільш ефективним методом боротьби з ожеледицею на ПЛ є плавка постійним струмом. З цією метою використовуються установки типу ВУПГ. Вибір такої установки здійснюється за основними параметрами лінії, на якій проводитиметься плавка.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Крига на проводах ЛЕП утворюється в результаті осідання вологи на поверхні проводів при температурі навколишнього середовища від 0 до -5-С. Корка льоду при цьому може досягати суттєвої величини, що значно збільшує провід, що в свою чергу може призвести до аварійної ситуації.

Існує кілька методів видалення ожеледиці, вони ґрунтуються на таких типах впливу як: термічне; термодинамічний; електромеханічне та механічне.

Найбільш ефективним методом боротьби з ожеледью відкладенням ожеледиці на ПЛ є плавка постійним струмом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. В Україні рекордна ожеледиця на лініях електропередачі, найскладніша ситуація – у Кіровоградській області.
<https://www.epravda.com.ua/rus/news/2024/01/15/708742/>
2. <https://eepir.ru/article/jekspluatacija-bespilotnikov-v-jelektre>
3. Каганов В. І. Як розплавити лід на проводах ЛЕП. Журнал «Наука і життя». Електронний ресурс. URL: <https://www.nkj.ru/archive/articles/14553/>
4. <https://www.epravda.com.ua/rus/news/2024/01/15/708742/>
5. https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/6028/Plavka_lda_na_linayah_ehlektroperedach;jsessionid=D8E5AA1FC63AA4E3D184E6970A399D38?sequence=1
6. Фурсанов М.І., Горудко П.С.. Ожеледні аварії на ЛЕП – причини появи та способи запобігання. 2017 р. Електронний ресурс. URL: https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:O22xmUArd0YJ:https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/54232/Gololednye_avarii_na_LENP_prichiny_poyavleniya_i_sposoby_predotvrashcheniya_cd=1&hl=ua&ct=clnk&gl=ua
7. ПУЕ видання 7. Розділ 2. Каналізація електроенергії. Розділ 2.5. Повітряні лінії електропередачі напругою понад 1 кВ. Кліматичні умови та навантаження. 2003. - 552с. ISBN 978-5-392-29900-3.
8. ДБН В.1.2-2:2006 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів НАВАНТАЖЕННЯ І ВПЛИВИ Норми проектування/
9. Ярославський Д.А. Система автоматизованого моніторингу ожеледних відкладень повітряних ліній електропередачі на основі інклінометрично-метеорологічного методу, дисертація, 2017 – 135 стор.
10. Энерговісник. Використання безпілотних літальних апаратів в ПЕК. [електронний ресурс]. URL: https://www.ruscable.ru/article/Ispolyzovanie_bespilotnykh_letatelynykh_apparatov_v_TEK/
11. РД 34.20.511 (МУ 34-70-028-82). Методичні вказівки з плавлення ожеледиці змінним струмом. Ч. 1. М: Союзтехенерго, 1983.

12. Peng S., W. Hao та Y. Zhai. Review of the research on icing mechanismus of transmission lines and ice-melting technologies. 2015 5th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT), Changsha, China, 2015, pp. 1648-1652, doi: 10.1109/DRPT.2015.7432515.
13. Чебанов А. Б., к.т.н. Таврійський державний агротехнологічний університет
ОБГРУНТУВАННЯ СПОСОБУ ПЛАВКИ ОЖЕЛЕДИЦІ ПОВІТРЯНОЇ ЛІНІЇ
ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕНЕРАТОРА ЗОНДУЮЧИХ ІМПУЛЬСІВ
14. Козлов А. В. Патент 2522423 МКІ Н02G7/16. Мобільний генератор струму для плавки ожеледиці на проводах повітряних ліній електропередачі. Бюл. Винахід. 2014. № 19.
15. Li R., W. Chen, W. Huang, C. Shen, X. Yan та F. Yin. механічний Характеристики з ice-melting and ice-shedding under Conductor Galloping. 2021 International Conference on Power System Technology (POWERCON), Haikou, China, 2021, pp. 2200-2204, doi: 10.1109/POWERCON53785.2021.9697491
16. Сташинов Ю. П., Конопелько В. В. Патент 2505903 МКІ Н02J3/18, Н02G7/16. Комбінована установка для компенсації реактивної потужності та плавки ожеледиці. Бюл. Винахід. 2014. №3.
17. Гуревич М. К. Патент 2376692 МКІ Н02G7/16, Н02J3/18. Комбінована установка для плавки ожеледиці та компенсації реактивної потужності. Бюл. Винахід. 2009. № 35.
18. Соловйов В.А., Чорний С.П., Сухоруков С.І. Про ефективність боротьби з ожеледицями на проводах ліній електропередачі // «ЕСіК», № 1, 2014 р. [електронний ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ob-effektivnosti-borby-s-gololednymiobrazovaniyami-na-provodah-liniy-elektroperedachi/viewer>.
19. Zhu Y., Y. Tan, Q. Huang, F. Huang, S. Zhu та X. Mao. Research on Melting and De-icing Методи Lines in Distribution Network. 2019 IEEE 3rd Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2), Changsha, China, 2019, pp. 2370-2373, doi: 10.1109/EI247390.2019.9062235.
20. Савченко О. А. Перспективні шляхи вдосконалення автоматизованих систем контролю утворення ожеледі на ПЛ / О. А. Савченко, С. В. Дюбко // Вісник

ХНТУСГ ім. Петра Василенка Випуск 175 "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". – Харків: ХНТУСГ, 2016. – С.20 – 22

21. Каганов В. І. Патент РФ 2356148 МКІ Н02G7/16. Спосіб та пристрій для боротьби з ожеледицею на лініях електропередачі. Бюл. Винахід. 2009. № 14.

22. Черемісін Н. М., Зубко В. М., Пархоменко О. В. До питання контролю стану льодовикових і морозних відкладень на повітряних лініях 0,38-10 кВ та планування ремонтних робіт на них / Н. М. Черемісін, В. М. Зубко, О. В. Пархоменко // Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка. – 2010. –Том. 101. – Р. 16-18.

23. Єфімов А. В. Патент РФ 2166826 МКІ Н02G7/16, В60М1/12. Спосіб видалення ожеледиці з проводів контактної мережі та ліній електропередачі. Бюл. Винахід. 2001. № 14.

24. Черемісін М. М. Аналіз та формування загальних принципів побудови автоматизованих систем контролю процесу утворення ожеледі на ПЛ / М. М. Черемісін, О. А. Савченко, С. В. Дюбко // Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК, 2016. – Харків: ХНТУСГ, 2016. – №1(4). – с. 16-18.

25. Савченко О. А. Перспективні шляхи вдосконалення автоматизованих систем контролю утворення ожеледі на ПЛ / О. А. Савченко, С. В. Дюбко // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка Випуск 175 "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". – Харків: ХНТУСГ, 2016. – С.20 - 22.

26. РД 34.20.511-82 Методичні вказівки з плавлення ожеледиці змінним струмом. Частина 1 (МУ 34-70-027-82, СО 153-34.20.511)