

РОЗДІЛ 2. ЕЛЕКТРИЧНІ СИСТЕМИ, МЕРЕЖІ ТА КЕРУВАННЯ НИМИ

ВПЛИВ ОЖЕЛЕДІ НА ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ

Новіков К.М., аспірант, Кацадзе Т.Л., к.т.н., доцент

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних мереж та систем

Вступ. Атмосферне зледеніння – це загальний термін, який використовується для пояснення процесу намерзання водної речовини, і воно має три основні типи: опадове зледеніння, хмарне зледеніння та сублімаційне зледеніння.

Перші два типи можуть завдати серйозних пошкоджень лінії електропередавання. Існує кілька факторів, які впливають на обмерзання, наприклад швидкість вітру, температура, мікроклімат, мікрорельєф, а також вміст переохолодженої води в повітрі [1].

Мета роботи: дослідження впливу ожеледі на лінії електропередавання.

Результати досліджень. Ожеледь на лініях електропередавання може призвести до порушення безпеки та надійності електромережі. Тривале обледеніння викликає збій електроенергії та руйнування опор. Оскільки лінії електропередавання здебільшого повітряні та можуть зазнати прямого впливу обмерзання, то це одна з головних проблем, з якою стикаються електророзподільні компанії в холодних регіонах. Коли наростання льоду перевищує безпечну межу, то проводяться дії з видалення льоду. Існує безліч методів видалення льоду, які використовуються в різних частинах світу, та це один із найскладніших і небезпечних процесів. Якщо виявлено несправність, яка виникла через обледеніння або під час поточного технічного обслуговування, необхідно вжити особливої обережності, щоб забезпечити безпеку персоналу під час виконання розморожування ліній.

Актуальність проблеми своєчасного отримання інформації про початок ожеледі на проводах лініях електропередавання, може допомогти уникнути багатьох проблем, пов'язаних з передачею електричної енергії. Обладнання знижує якість передачі електричної енергії. При проходженні електричного струму по лініях, які вкриті льодом виникає іскріння, яке призводить до підвищеного зносу проводу. Також з'явлення ожеледі порушує правильну форму перерізу проводів і у сукупності з впливом вітру невеликої швидкості (6 – 10 м/с), направленою під кутом близьким до прямого по відношенню до проводів, призводить до коливань, які викликають порушення роботи лінії, ураження проводів та іншого обладнання [2].

Найбільш серйозний вплив на суспільство справив добре відомий крижаний дощ на сході Канади і північному сході США в січні 1998 року, коли мільйони людей на кілька тижнів залишилися без електрики, а промисловість, бізнес і громадськість були паралізовані через втрати енергії, руйнування телекомунікацій та важкодоступність доріг.

У частинах світу, де трапляється явище обледеніння, екстремально низькі температури та сильна ожеледь спричиняють негативний вплив на інфраструктуру, впливаючи на її продуктивність у вигляді погіршення якості матеріалів, несправностей, пошкоджень, жорсткості, розтріскування та низької продуктивності тощо, тобто, електромережа стикається з декількома проблемами під час ожеледі, оскільки лінії електропередавання розташовані на великих відстанях від генеруючих станцій до розподільних мереж. Така мережа пролягає через рівнинні поля, високі гори та невеликі річкові переходи та покриває великі відстані. Під час ожеледиці вага льоду створює додаткове навантаження на мережу, а також збільшує ймовірність відключення електроенергії через ожеледицю. Крижані бурі призводять до великих втрат в електромережах, а відновлювальні роботи тривають від кількох днів до тижнів, щоб відновити електропостачання. Під час ожеледиці на провідниках, ізоляторах і опорах відбувається наростання льоду, що може призвести до відключення лінії, руйнування конструкції та додаткового навантаження на провідники. Після виникнення несправності потрібен тривалий час для нормалізації мережі, оскільки ремонтні роботи вимагають точного визначення несправності з наступною мобілізацією робочої сили, матеріально-технічного забезпечення, матеріалів і перевірки несприятливих погодних умов тощо. Останнім часом було досягнуто прогресу з точки зору виявлення навантаження від льоду, вдосконалення конструкції, методів захисту від обмерзання та зледеніння, що забезпечує постійне живлення навіть у суворох умовах. Проте недостатньо вивчене питання впливу ожеледі на зарядну потужність лінії.

У більшості частин світу, де на лініях електропередавання трапляється явище обмерзання, воно може спричинити низку проблем, наприклад, галопування, коротке замикання та руйнування опор через додаткову вагу, додану льодом. Опори ліній електропередавання розроблені таким чином, щоб витримувати стрибки, але якщо проводи лінії торкаються або наближаються до заземленої частини, наприклад, металевої опори, це може призвести до короткого замикання. Це може активувати захисні реле та розірвати коло у разі сигналу несправності. Галопування виникає, коли намерзають дощові палиці на опорах ліній електропередавання та проводах, що може призвести до наростання льоду. Сильний вітер, що дме через ці бурульки та провідники, також може спричинити коливання проводів ліній електропередавання, і чим сильнішим стає вітер, тим сильнішим буде галопування. Зазначається, що шість міліметрів льоду за постійного вітру 30 км/год, що дме перпендикулярно до лінії електропередавання, є ідеальними умовами для створення галопу. У розподільчих мережах 10 кВ обмерзання також впливає на електропостачання. Оскільки мережа передачі низької напруги здебільшого використовує дерев'яні стовпи з ізоляторами, що утримують провідники, то з часом тріщини, що утворилися в провідниках, призводять до пожежі стовпів. Деякі інші фактори, включаючи бруд і пил, що покривають ізолятори, вологість повітря, густий туман, дощ і мокрий сніг, можуть викликати коротке замикання. На рисунку 1 показано пошкодження стовпа внаслідок стрибку та пожежі стовпа.



Рисунок 1 – Пошкодження стовпа та вигинання стовпа

Іншою небезпекою, спричиненою обмерзанням лінії електропередавання, є накопичення снігу на опорах та ізоляторах. Ізолятори визначаються їх навантажувальними можливостями та повинні витримувати певні електричні напруги та меншу ймовірність відмов спалаху. Вони також повинні витримувати короточасні стрибки напруги, які можуть виникнути через перемикання. На рисунку 2 зображено ізолятор, покритий льодом.

Обмерзання на лініях електропередавання може вплинути на мережу таким чином. По-перше, накопичення льоду на ізоляторах знижує їх електричну міцність і, таким чином, призводить до обледеніння. По-друге, це зменшує повітряний зазор. Наприклад, важкі крижані провідники та заземлюючі дроти зменшують повітряний зазор між ними, що супроводжується стрибками мокрого снігу, коли крига починає танути на провіднику, і може призвести до спалахів. Ожеледь може зламати провідник і повалити опори.

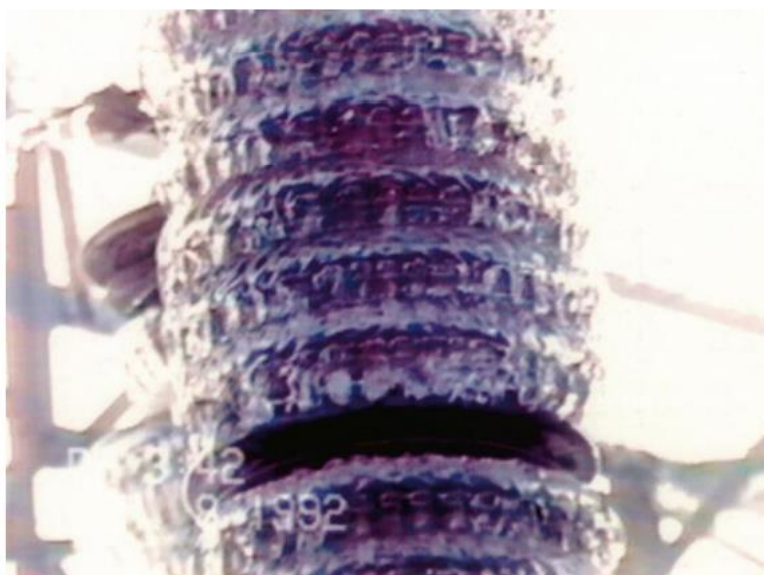


Рисунок 2 – Обмерзання ізолятора

На півдні Норвегії дві лінії електропередавання напругою 420 кВ зазнали серйозних пошкоджень через надмірні ожеледні навантаження, які в 4-5 разів

перевищували межу несучості. У лісах велике навантаження снігу під вітром може призвести до кидання вітром або поломки стовбура, що є одним із найшкідливіших явищ, особливо в європейських лісах. На рисунку 3 показано вплив вітру.



Рисунок 3 – Снігове навантаження на лінії електропередавання і пошкодження вітром

Отже існує традиційний підхід до проблеми обледеніння, яка спричиняє додаткові механічні навантаження, що призводять до порушення роботи та аварій. Проте відкладення ожеледі також буде змінювати властивості середовища навколо проводу і, як наслідок, електротехнічні параметри лінії, зокрема, зарядну ємність лінії електропередавання.

Ємність одиночного провідника визначається відомим виразом (1) [3]:

$$C = 4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot R \quad (1)$$

де ε_0 – діелектрична стала, $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

ε – відносна діелектрична ізолюючого середовища;

R – радіус провідника, м.

Під час ожеледі змінюється значення такого параметру, як відносна діелектрична проникність, бо для повітря він дорівнює приблизно одиниці, в той же час для льоду він коливається в залежності від значення температури повітря, густини відкладень на проводах та форми відкладень, і відрізняється від повітря в десятки разів. Це означає, що ожеледь впливає на значення ємності, а також на зарядну потужність лінії електропередавання. На рисунку 4 приведені значення відносної діелектричної проникності для різних матеріалів.

Таким чином обледеніння є серйозною проблемою, яка має багато негативних впливів на лінії електропередавання та енергосистему в цілому.

ДІЕЛЕКТРИЧНА ПРОНИКНІСТЬ (ϵ)			
Для вакууму $\epsilon = 1$		Рідини	ϵ
Тверді тіла	ϵ	Бензин	1,9 – 2,0
Парафін	1,9 – 2,2	Масло трансф.	2,2
Поліетилен	2,25	Спирт	26
Папір	2,0 – 3,5	Гліцерин	43
Оргскло	3,5	Вода	81
Дерево сухе	2,3 – 3,7	Гази	ϵ
Гума	3,0 – 6,0	Гелій	1,000068
Порцеляна	4,4 – 6,8	Водень	1,000252
Скло	6 - 10	Азот	1,000528
Лід	70	Повітря	1,00057
Титанат барію	1200	Вугл. газ CO ₂	1,00099

Рисунок 4 – Значення відносної діелектричної проникності для різних матеріалів

Висновки. Боротьба з ожеледдю на лініях електропередавання є складним і багатогранним завданням, яке потребує комплексного підходу та спільних зусиль з боку всіх учасників процесу. Застосування сучасних технологій та технічних рішень, підвищення кваліфікації персоналу та організація правильної експлуатації та обслуговування ліній електропередавання дозволять знизити ризики відключення електроенергії та забезпечити надійну роботу системи електропостачання у будь-яких кліматичних умовах. Таким чином, вирішення проблеми ожеледиці на лініях електропередавання є важливим аспектом забезпечення безпеки та стабільності енергопостачання у сучасному світі, де залежність від електроенергії продовжує зростати, а кліматичні зміни стають все більш помітними та прогресуючими.

Перелік посилань

1. Solangi A.R. Icing Effects on Power Lines and Anti-icing and De-icing Methods, ТЕК-3901-Master's thesis in Technology and Safety in High North – June 2018.
2. Farzaneh M. Atmospheric Icing of Power Networks, Universite du Quebec a Chicoutimi, Canada, 2008.
3. Бойко В.С. Теоретичні основи електротехніки / В.С.Бойко, В.В.Бойко, Ю.Ф.Видолоб, І.А.Курило, В.І.Шеховцов, Н.А.Шидловська – Т1: Київ „Політехніка”, 2004. – 272 с.