

УДК 621.315

*Любов Коваленко, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри електроенергетики та електротехнологій,
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного,
м. Запоріжжя, Україна*

ЗАСТОСУВАННЯ ПРИСТРОЇВ НА БАЗІ СПЛАВІВ З «ЕФЕКТОМ ПАМ'ЯТІ ФОРМИ» ДЛЯ ВИДАЛЕННЯ ВІДКЛАДЕНЬ ОЖЕЛЕДІ З ПРОВОДІВ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ

Анотація. Відкладення ожеледі на елементах повітряних ліній є небезпечним для експлуатації електричних мереж. Видалення ожеледі відбувається шляхом її плавлення електричним струмом, що може супроводжуватися перегрівом і перегоранням проводів. Пропонується впровадити методи видалення ожеледі із застосуванням сплавів із «ефектом пам'яті форми». Ідеальним матеріалом для цього є алюмінієва бронза.

Ключові слова: відкладення ожеледі, видалення ожеледі, пристрої для скидання ожеледі, ефект пам'яті форми, нітинол, берилієва бронза, термокомпенсатор.

Abstract. Ice accretion on overhead power line elements poses a danger to the operation of electrical networks. De-icing is typically carried out by melting the ice using electric current, which can lead to overheating and burnout of the wires. It is proposed to introduce de-icing methods using special alloys with a “shape memory effect.” Aluminum bronze is considered an ideal material for this purpose.

Keywords: ice accretion, de-icing, de-icing devices, shape memory effect, nitinol, beryllium bronze, thermal compensator.

В південних та східних областях України повітряні лінії електричних мереж напругою 6...35 кВ в осінньо-зимовий період часто піддаються впливу навантажень від ожеледі та вітру. Особливо інтенсивно ці процеси відбуваються в районах, які відносяться до IV-VI районів за товщиною стінки ожеледі, яка може досягати товщини, відповідно, від 22 до 34 мм [1]. Висока вологість та низька температура в межах від 0 до –10 С° сприяють інтенсивному утворенню ожеледі на проводах повітряних ліній (ПЛ) [1, 2].

Відкладення ожеледі на елементах повітряних ліній представляє значну небезпеку для нормальної експлуатації електричних мереж, особливо для повітряних ліній електропередавання.

Утворення ожеледі може викликати наступні негативні наслідки, які в свою чергу ведуть до розвитку аварій в електричних мережах [2, 3]:

- руйнування опор в результаті обриву проводів при перевантаженні від ожеледі;
- розрегулювання проводів і тросів та їх зближення між собою та «опіки»;
- зближення проводів і тросів внаслідок неодночасного скидання ожеледі;
- інтенсивне галопування проводів, що може викликати коротке замикання між проводами і тросами, пошкодження ізоляції проводів і тросів, а в деяких випадках пошкодження лінійної арматури та кріплень;
- значне перевантаження проводів і тросів електричною дугою;
- перевантаження, деформацію та пошкодження траверс.

Значна частина відключень, або пошкоджень ПЛ напругою 6-35 кВ, що відбуваються на протязі року, припадає на пошкодження із причини механічних перевантажень, які відбуваються внаслідок впливу ожеледі [2, 3].

Враховуючи надзвичайно тяжку природу ожеледяних аварій, що можуть привести до дезорганізації електропостачання цілих районів, необхідно вживати заходи для їх запобігання, шляхом своєчасного видалення ожеледі з проводів ліній електропередавання [2, 3].

Заходи боротьби із утворенням ожеледі на проводах ведуться в трьох напрямках:

- 1) приведення механічної міцності елементів ПЛ у відповідність із кліматичними умовам;
- 2) проведення профілактичних заходів;
- 3) видалення ожеледяних відкладень.

Традиційно, в більшості випадків, видалення ожеледі відбувається шляхом її плавлення на проводах електричним струмом (струмом короткого замикання).

Проходження великого струму по проводам лінії електропередавання при плавці приводить до сильного перегріву ослаблених місць дротів, втрати механічної міцності і обриву. Крім того, при сильному перевантаженні на лініях з вертикальним розташуванням проводів можливі наближення і «опіки» проводів внаслідок не одночасного скидання ожеледі з проводів на окремих фазах [2].

Пропонується розглянути можливість застосування нових методів видалення ожеледі, які позбавлені вказаних недоліків. Одним із таких напрямків є застосування електромеханічних пристроїв для скидання відкладень ожеледі з проводів із застосуванням спеціальних сплавів із «ефектом пам'яті форми» [4]. Це дозволить значно спростити процес видалення ожеледі та суттєво зменшити витрати електричної енергії на проведення плавки.

Сплави з пам'яттю форми є представниками сімейства розумних матеріалів, які здатні миттєво реагувати на деякі види зовнішніх стимулів, при цьому змінюючи форму та запам'ятовуючи свою початкову морфологію. Відновлення форми відбувається за рахунок бездифузійного фазового перетворення між кристалічними структурами мартенситу та аустеніту. Цей процес називається ефектом пам'яті форми (ЕПФ) [5].

Ефект пам'яті форми – це здатність металів або сплавів певного складу повертатися до вихідної форми при нагріванні після деформації. Особливістю даного механізму в таких матеріалах є властивість перетворювати механічну енергію на теплову і навпаки.

У вихідному стані матеріал має певну структуру. При проходженні деформації зовнішня частина матеріалу витягується, а внутрішня навпаки стискається. Ці структури є мартенситними пластинами. В той час центральна частина залишається незмінною. При нагріві в мартенситних пластинах проявляється термпружність і з'являються внутрішні напруження, за рахунок яких структура повертається у вихідний стан.

Явище ефекту пам'яті форми реалізується за рахунок мартенситного перетворення. Мартенситне перетворення є бездифузійним, воно являє собою

перетворення ґратки металу деформацією зсуву великих ансамблів атомів та супроводжується деформаційними явищами. Проходить в кристалічному твердому тілі при низьких температурах, внаслідок яких з його вихідної фази утворюється мартенситна фаза з новою кристалічною ґраткою. При появі у вихідній фазі пластинчастих чи лінзоподібних областей атоми рухаються не по одному, а єдиним комплексом, деформація зсуву відбувається рядами, один за одним, в результаті відбувається перехід ґратки вихідної фази у мартенситну ґратку. При проходженні цього процесу зберігається відношення між вузлами початкової (вихідної) фази та мартенситною ґраткою. У результаті такого кооперативного руху зберігається однозначна відповідність між вузлами вихідної фази та ґраткою мартенситу. При умові, якщо ґратка вихідної фази є впорядкованою, то внаслідок відповідності ґратка мартенситної фази також є впорядкованою [5].

Ще одним важливим явищем, за рахунок якого здійснюється ефект пам'яті форми є надпруженість. Надпруженість це явище, при якому зразок, що піддається деформації, має більшу деформацію, ніж деформація звичайних металевих матеріалів до межі пружності і відновлює свою форму після зняття навантаження.

Для сплавів з ефектом пам'яті форми характерна наделастичність (гумоподібна поведінка). Цей ефект проявляється, якщо мартенситне перетворення відбувається під дією зовнішнього навантаження. В результаті спостерігається значна деформація сплаву. При цьому величина зворотної деформації на порядок вища, ніж у кращих пружинних матеріалів [5].

Термопружна рівновага фаз дозволила з'ясувати роль пружної енергії в термодинаміці мартенситного перетворення. У цих сплавах, в температурному інтервалі перетворення, кристали мартенситу можуть змінювати свої розміри не тільки під впливом температури, але й в ізотермічних умовах при прикладанні зовнішніх сил.

Перспективним є застосування таких матеріалів в електроенергетиці. Одним із таких напрямків є виготовлення на їх основі спеціальних пристроїв для скидання ожеледі з елементів ПЛ.

На рисунку 1 схематично зображений механічний пристрій для скидання ожеледі, що може застосовуватися на повітряних лініях електропередавання із штировими ізоляторами – це мережі напругою 6 та 10 кВ і рідше мережі напругою 35 кВ. На штирі 1 закріплений стандартний штировий ізолятор 2, до ізолятора 2 кріпиться внутрішній стакан 3. Телескопічно пов'язаний із ним зовнішній стакан 4 кріпиться до проводу 5. Робочий елемент із сплаву з ЕПФ(пружина) 6, що виготовлений із матеріалу з ЕПФ, знаходиться всередині стаканів 3 та 4. На ізоляторі 2 також кріпляться тросові відтяжки 7 із роликами 8 на кінцях. Провід 5 проходить під роликами 8 [4].

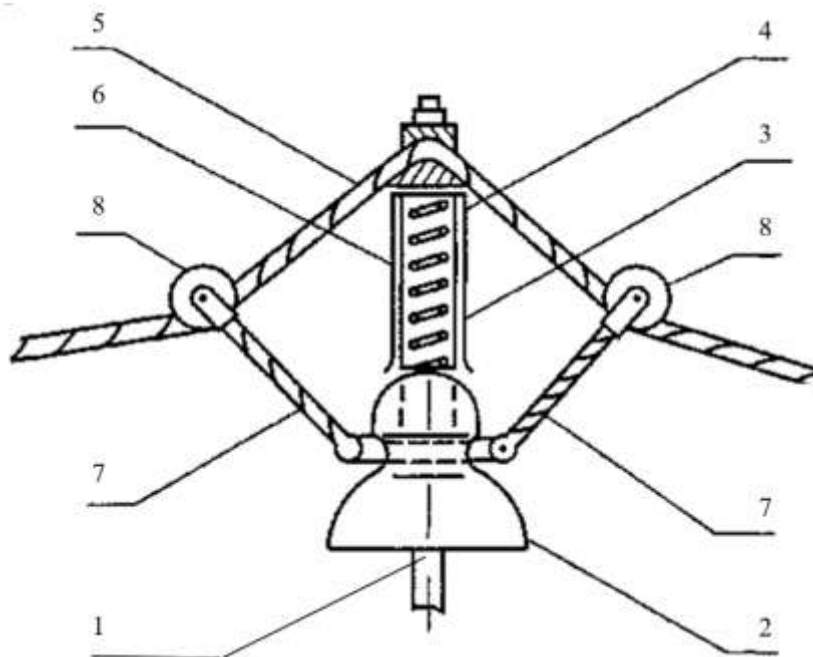


Рисунок 1 – Пристрій для видалення ожеледі з перпендикулярним розміщення робочих елементів

Термокомпенсатор працює наступним чином. При температурі повітря нижче мартенситної точки робочий елемент із матеріалу з ЕПФ, що знаходиться всередині телескопічних стаканів, стиснутий під дією тяжіння проводу. При

цьому сила, що діє на силовий елемент, залежить від тяжіння та кута, що утворюється сторонами паралелограма.

При підвищенні температури (нагрівання електричним струмом), робочий елемент розпрямляється, поновлюючи свою форму. Діагональ паралелограма, утворена телескопічними стаканами, збільшується, провід підтягується, і стріла провисання зменшується [4].

Описаний пристрій видалення ожеледі відзначається простотою та високою надійністю конструкції, може бути використаний на лініях електропередавання усіх класів напруг при будь-яких опорах, що мають штирові ізолятори.

Пристрій для видалення ожеледі можна виконувати виготовляючи його робочий елемент з матеріалу з ЕПФ. Найбільш відомим матеріалом є нітинол – нікелід титану (Ni-Ti). Однак нітинол у цьому випадку застосовувати не рекомендується внаслідок великого питомого опору сплаву. Ідеальним матеріалом є алюмінієва бронза (Cu-Zn-Al) [4].

Основна вимога для роботи пристроїв із ЕПФ: довжина ділянки провода, паралельно якому кріпиться компенсатор повинна дорівнювати довжині термокомпенсатора в ненавантаженому стані, збільшеної на величину максимально допустимої деформації компенсатора в площині паралельній проводу, а величина максимально можливої деформації термокомпенсатора повинна дорівнювати абсолютному подовженню провода в заданому температурному діапазоні.

Висновки. Перспективним напрямом видалення відкладень ожеледі з проводів повітряних ліній електропередавання є розробка та застосування спеціалізованих пристроїв із використання матеріалів з ефектом пам'яті форми. Найпростішим шляхом використання таких пристроїв є електричні мережі у яких проводи закріплені на штирових ізоляторах, тобто мережі напругою 6-35 кВ. Обмеженням до застосування таких пристроїв є вартість матеріалів з ефектом пам'яті форми, яка на даний час залишається досить високою.

Список використаних джерел

1. Правила улаштування електроустановок. Київ : Міненерговугілля України, 2017. 617с.
2. Омеляненко Г. В., Черкашина В. В., Шматов А. О. Дослідження зарубіжного досвіду боротьби з ожеледно-паморозевими відкладеннями на проводах повітряних ліній електропередачі. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Серія: *Енергетика надійність та енергоефективність*. 2023. № 1(6) С. 45-50
3. Черемісін М. М., Попов О.А., Шкуро К. О., Пархоменко О. В. Ефективність моніторингу повітряних ліній електропередавання в ожеледних районах. *Наукові праці Донецького національного технічного університету*. 2013. № 2(15). С. 261-264.
4. Шестеренко В. Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств : підручник. Вінниця: Нова Книга, 2004. 656 с.
5. Коваль Ю. М. Сплави з ефектом пам'яті форми – потужний клас функціональних матеріалів. *Наука та інновації : Інноваційні проекти НАН України*. 2025. № 2. С. 80-95.