

INCREASING THE RELIABILITY OF ELECTRICAL DELIVERY BY TERMOCOMPENSATION OF THE SAGGING ARROW OF LINES WIRES

V. Shesterenko, S. Balyuta, O. Mashchenko

National University of Food Technologies

Key words:

Thermo-compensating devices
Sagging arrow
Span
Wire
Power line

Article history:

Received 11.05.2018
Received in revised form 23.05.2018
Accepted 06.06.2018

Corresponding author:

V. Shesterenko

E-mail:

shest.iren.co@ukr.net

ABSTRACT

The work is devoted to the research of methods of decreasing the arrow of sagging of transmission lines with the help of thermal compensating devices; types and structure of thermo-compensating devices are considered. The compensation of sagging wires creates conditions under which it is possible either to increase spans, or to reduce the height of the supports, while preserving the existing estimated spans. As a result, the specific consumption of the supports, linear fittings, insulation is reduced, and the time for construction of the transmission lines is reduced. Taking into account the existing norms, it is possible to increase the overall span of the transmission lines of different classes of voltages by 7—10%. It is known that the main limitation when selecting the maximum permissible spans the envelope approximation wires to the ground or engineering structure which intersects, *dareia* is determined by the maximum ambient temperature. Envelope approximation of wiring should be less than difference between height of the lower suspension wires of power transmission lines and their extreme sagging in flight. Under the current fixation wires on poles there is an inverse relationship between the temperature and elongation of the tension wire.

It follows that if there are devices allowing to increase the tension in the wires when the temperature is maximal compensation of the temperature arrows of SLW is realized. Compensation of sagging of wires creates conditions that make it possible to increase the span, or reduce the height of the towers while maintaining the existing design of stairs. The result is reduced specific consumption of poles, overhead line fittings, insulation, reduced construction time lines. The aim of this work is development and research of multifunctional devices for temperature compensation of the arrows of SLW of the transmission line, the optimization of their parameters, study of joint operation of circuits in the span of such devices. The results of these studies can be applied for transmission lines of any voltage classes located in all areas according to wind and ice. As a result of the conducted research, the method of calculation and optimization of existing devices of thermal compensation of arrows for sagging of transmission lines has been developed.

DOI: 10.24263/2225-2924-2018-24-3-18

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ШЛЯХОМ ТЕРМОКОМПЕНСАЦІЇ СТРИЛИ ПРОВИСАННЯ ПРОВОДІВ ЛЕП

В.Є. Шестеренко, С.М. Балюта, О.А. Мащенко

Національний університет харчових технологій

У статті досліджено методи зменшення стріли провисання проводів ліній електропередачі (ЛЕП) за допомогою термокомпенсуючих пристроїв, розглянуто види та будова термокомпенсаторів. Компенсація провисання проводів створює умови, за яких можливо або збільшувати прольоти, або знижувати висоту опор при збереженні існуючих розрахункових прольотів. У результаті знижується питома витрата опор, лінійної арматури, ізоляції, скорочуються терміни будівництва ЛЕП. Враховуючи існуючі норми, можна збільшити габаритний прольот ЛЕП різних класів напруг на 7—10%. Відомо, що основним обмеженням при виборі максимальних прольотів є допустимий габарит наближення проводів до землі або з інженерною спорудою, яка перетинається, визначається для режиму максимальних температур навколишнього середовища. Габарит наближення проводів повинен бути меншим за різницю між висотою підвісу нижніх проводів ЛЕП та екстремальним їх провисанням у прольоті. При існуючому закріпленні проводів на опорах між температурним подовженням і натягом проводів існує зворотна залежність.

Звідси випливає, що за наявності пристроїв, що дають змогу збільшити натяг у проводах при максимальних температурах, реалізується компенсація температурних стріл провисання проводів ЛЕП. З огляду на це метою дослідження є розробка та дослідження багатофункціональних пристроїв компенсації температурних стріл провисання ЛЕП, оптимізація їх параметрів, дослідження спільної роботи проводів в прольоті з подібними пристроями. Результати даних досліджень можуть бути застосовані для ЛЕП будь-яких класів напруги. За результатом проведеного дослідження розроблено методику розрахунку та оптимізації існуючих пристроїв термокомпенсації стріл провисання проводів ЛЕП.

Ключові слова: термокомпенсатор, стріла провисання, прольот, провід, лінія електропередачі.

Постановка проблеми. Перші згадки про пристрої та способи компенсації температурних стріл провисання проводів ЛЕП відносяться до 1930 року. Але слід відзначити, що основним призначенням подібних способів і приладів є полегшення тяжиння вздовж проводів ЛЕП при появі надмірного навантаження (ожеледь) з метою запобігання проводів від обриву, зниження ймовірності схрещування проводів при сильному вітрі, боротьба з ожеледицею, боротьба з вібраціями проводівтощо. Вперше пристрої, призначені для

стабілізації стріл провисання проводів, виступають як самостійний клас, починаючи з 40-х років ХХ століття.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Починаючи з 60-х років минулого століття відзначається можливість збільшення довжини прольоту за рахунок застосування способів і пристроїв компенсації стріл провисання проводів. Пристрої компенсації у найзагальнішому вигляді представляють собою елементи силової дії, механічно об'єднані з проводами і мають на них силовий вплив [1—4]. Однак певною мірою компенсації температурної стріли провисання можна також досягти шляхом оптимізації розташування опор і проводів на опорах. При існуючому закріпленні проводів на опорах між температурним подовженням і натягом проводів існує зворотна залежність. Звідси випливає, що за наявності пристроїв, що дають змогу збільшити натяг у проводах при максимальних температурах, реалізується компенсація температурних стріл провисання проводів ЛЕП (патент США US 6864421 В1).

З огляду на викладене важливим є розгляд конструкцій термокомпенсаторів та вплив їх на економічні показники ЛЕП.

Мета дослідження: проаналізувати доцільність використання термокомпенсації на діючих ЛЕП і лініях, що проектується, надати рекомендації щодо використання термокомпенсаторів на ЛЕП.

Викладення основних результатів дослідження. Способи компенсації стріл провисання можна розділити за тривалістю впливу на провід лінії: безперервний вплив, періодичний вплив, разовий вплив.

За характером робочого елемента пристрої компенсації можна розділити на вантажні, пружинні (з пружинами стисків, розтягування, пластинчасті), гідропневматичні, компенсатори-перемички, комбіновані.

За способом об'єднання робочого елемента з проводом ЛЕП пристрої компенсації можуть бути розділені на ті, які мають зв'язок з проводом ЛЕП через ізоляційний елемент, і ті, що мають безпосередній зв'язок з проводом.

Слід зазначити, що в принципі можливе створення активних способів і пристроїв компенсації стріл провисання проводів ЛЕП. При цьому пристрої компенсації можуть реагувати не тільки на тяжіння уздовж проводу. Розрахунок і робота таких вузлів спрямованого навантаження, якими є пружини розтягування і стиснення, добре вивчені. При зменшенні тяжіння по проводу пружина скорочується, підтягуючи провід. При збільшенні тяжіння по проводу пружина збільшується. При цьому автоматично регулюється тяжіння по проводу і стріла провисання. Так працює вузол спрямованого навантаження, розташований паралельно проводу лінії електропередачі.

Проведений аналіз свідчить, що, як правило, для усієї гами проводів у першому районі по ожеледі розрахунковий прольот визначається за провисанням проводів (стріла провисання) при $t_{\text{макс}} = 40^{\circ}\text{C}$.

При однакових опорах питома вартість спорудження ПЛ залежить від числа опор на 1 км довжини ліній. З іншого боку, збільшення прольотів без заміни проводів можливо тільки до певної величини, збільшити яку можна, застосовуючи нові конструкції опор. Збільшення висоти опор викликає

непропорційні витрати матеріалів (металу, залізобетону, дерева, тощо), що призводить до росту питомої вартості.

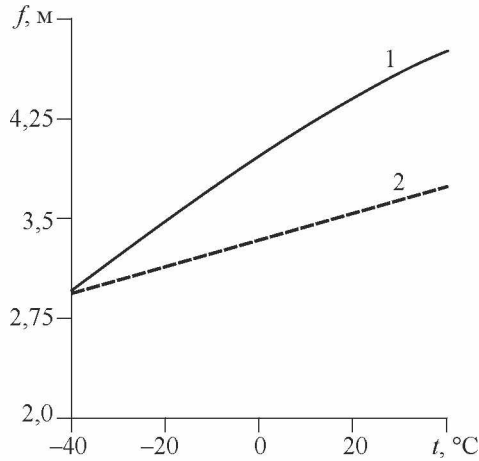


Рис. 1. Вплив термокомпенсатора на стрілу провисання проводів:
 1 — стріла провисання проводу без компенсатора; 2 — те ж саме з компенсатором

Враховуючи те, що між температурним подовженням проводів і тяжінням у провадах має місце зворотна залежність, компенсацію температурних стріл провисання проводів можна виконати, збільшуючи тяжіння в провадах при максимальній температурі:

$$\sigma - \frac{v^2 E l^2}{24 \sigma^2} = \sigma - \frac{v_0^2 E l^2}{24 \sigma_0^2} - \alpha E (t - t_0) \quad ,$$

де v_0 — питоме навантаження проводу в початковому стані; t_0 — температура в початковому стані; σ_0 — напруга в нижній точці в початковому стані; E — модуль пружності; α — температурний коефіцієнт лінійного подовження матеріалу проводу; l — довжина прольоту; v, σ, t — питоме навантаження, напруга і температура в кінцевому стані.

На ділянці спрацьовує термокомпенсатор. При цьому збільшується тяжіння в проводі і зменшується стріла провисання. Рівняння стану проводу для цього діапазону:

$$\sigma - \frac{v^2 E l^2}{24 \sigma^2} = \sigma_0 - \frac{v_0^2 E l^2}{24 \sigma_0^2} - \alpha E (t - t_0) - \frac{l \alpha_k E}{l} (t - A_s) \quad ,$$

де α_k — температурний коефіцієнт подовження термокомпенсатора.

$$\alpha_k = \frac{\varepsilon}{100 \Delta t_\phi} \quad ,$$

де ε — максимальне подовження (скорочення) термокомпенсатора, %; Δt_ϕ — температурний діапазон роботи термокомпенсатора.

При цьому, не порушуючи обмежень, можна зменшити стрілу провисання проводів, що, у свою чергу, дає змогу або збільшити прольоти або знизити висоту опор при існуючих прольотах. Можна також підвищити пропускну здатність існуючих ПЛ, збільшуючи допустиму температуру проводів. В усіх вищезгаданих випадках існує можливість зниження витрат опор на 1 км повітряної лінії (ПЛ), лінійної арматури, ізоляторів, а також скорочуються терміни будівництва нових ліній. Враховуючи існуючі норми, можна збільшити габаритний прольот ПЛ різних класів напруг на 7—10%.

Термокомпенсація стріл провисання виконується за допомогою активних силових елементів, що кріпляться до проводу і діють на нього.

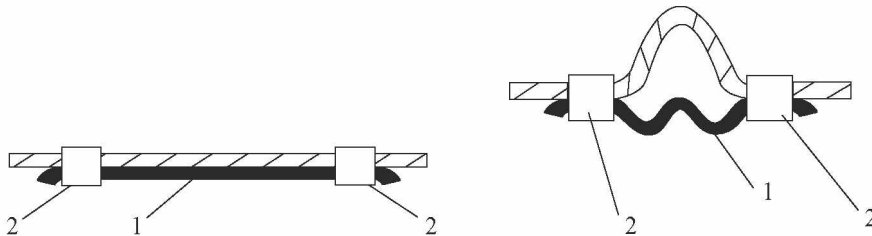


Рис. 2. Принцип роботи активного термокомпенсатора

Вузол температурної компенсації складається з термочутливого елемента 1 та затискача 2 для кріплення елемента 1 до проводу.

Термочутливий елемент 1 при максимальній температурі стиснутий, напруга в проводі збільшується і стріла провисання зменшується порівняно з стрілою без компенсації. Якщо температура проводу знижується (близько 288°K), термочутливий елемент 1 втрачає свою жорсткість і під дією тяжіння по проводу вирівнюється. При наступному підвищенні температури термокомпенсатор поновлює свою форму.

Вантажні термокомпенсатори широко застосовуються в мережах електро транспорту. Завдяки їм можна довести до мінімуму стрілу провисання контактного проводу.

Пружинні та гідропневматичні термокомпенсатори — це вузли направлених навантажень, що механічно з'єднані з проводом ПЛ.

Вантажні пристрої компенсації були довгий час найбільш простими, зручними й очевидними пристроями компенсації. Ці пристрої роблять безпосередній силовий вплив на провід. За характером їх об'єднання з проводом пристрої можна розділити на дві групи:

- а) пристрої, що мають зв'язок з проводами ЛЕП через ізоляційний елемент;
- б) пристрої, що мають безпосередній зв'язок з проводами ЛЕП.

Найбільш простими і відомими є пристрої для натягування проводів, зокрема повітряних ЛЕП, що включають компенсатор у вигляді вантажу, закріпленого на тязі, що утримує провід. Такий пристрій забезпечує постійну напругу в проводі і практично незмінну стрілу провисання проводу при постійних вагомих навантаженнях на ньому.

Однак такі пристрої не є ефективними під час ожеледиці, тому що обмерзання проводів призводить до різкого нерегульованого збільшення стріли провисання проводу, зумовленого незмінною і, як правило, невеликою величиною тяжіння по проводу при зростанні вагомих навантажень на провід.

Тому зазначені пристрої можуть бути забезпечені допоміжним вантажем, розташованим на певній відстані від основного вантажу і закріпленим на опорній конструкції з можливістю уповільнити його з основним вантажем для спільного їх переміщення.

Додатковий вантаж може мати наскрізний отвір, встановлений на опорній конструкції вище за основний вантаж таким чином, що цей отвір розміщений вертикально і в ньому розміщена тяга.

Це дасть змогу компенсувати збільшення стріли провисання проводу при максимальних експлуатаційних температурах за рахунок переміщення основного вантажу і збільшить тяжіння по проводу при зростанні високих навантажень за рахунок включення в роботу допоміжного вантажу. Різкого збільшення стріли провисання не відбувається, тому що стріла провисання, визначена в цих умовах, істотно більша за величину тяжіння по проводу.

Однак наявність допоміжного вантажу, що розміщується на опорі і має значну масу, ускладнює конструкцію опор. Крім того, при появі вагового навантаження, що значно перевищує розрахункове, стріла провисання проводу може збільшитися настільки, що це призведе до порушення габариту проводів до землі.

З метою зниження матеріаломісткості опорної конструкції пристрій для натягування проводів може бути забезпечено додатковими блоками, поліпастами й анкерами, причому допоміжні блоки встановлені на опорній конструкції, гнучка тяга виповнена у вигляді відтяжки, перекинutoї через додаткові блоки і пов'язана з вантажем через поліпаст.

Пружинні компенсатори являють собою вузли спрямованого навантаження (пружини пластинчаті, стиснення, розтягування) механічно об'єднані через ізолюючий елемент або безпосередньо з проводом ЛЕП. Сьогодні конструкції подібних пристроїв, що компенсують, розроблені практично для всіх класів ЛЕП. Однак слід зазначити, що перш за все пружини передбачалося застосовувати на ЛЕП як демпфуючі пристроїв, які сприяють скиданню ожеледних відкладень. При виборі відповідних параметрів пружина може працювати і як температурний компенсатор подовження проводу (стріли провисання проводу).

Гасіння коливань проводів відбувається за рахунок жорсткого кріплення проводу до опори, що не дає йому можливості вільно переміщатися у вертикальній і горизонтальній площинах, а наявність тросових розпірок між проводами призводить до зменшення коливань системи трьох проводів прольоту.

Перевагами пристрою є ефективність захисної дії, простота конструктивного виконання, надійність роботи і невеликі витрати на реалізацію. Залежно від параметрів демфера механічних коливань — пружин і від точок кріплення розтяжки на проводі і на опорі здійснюється компенсація температурного подовження проводу як за рахунок компенсації горизонтальної складової

тяжіння уздовж проводу, так і за рахунок компенсації вертикальної складової.

Компенсатори, або запобіжні перемички являють собою пристрої разової дії. У цих пристроях провід лінії заздалегідь підтягнутий компенсатором — перемичкою. Слід зазначити, що основним призначенням перемички все ж є запобігання обриву проводу при понад розрахункових механічних навантаженнях. Елемент, що оберігає провід від обриву, виконаний у цьому випадку у вигляді перемички з механічною міцністю меншою, ніж механічна міцність проводу лінії.

При великих ожеледних і вітрових навантаженнях буде рватися не провід, а перемичка петлі, що має меншу міцність. У результаті обриву перемички петля випрямляється, збільшається довжина і, отже, стріла провисання проводу. Збільшення стріли знизить напругу в проводі та вбереже від розриву. Зважаючи на велику гнучкість проміжних опор збільшення стріли провисання проводів поширюється на кілька прольотів в обидві сторони від обірваної перемички петлі. Відновлення перемичок передбачається після того, як ожеледь на проводах розтане. У нормальних умовах режиму роботи ЛЕП провід завжди знаходиться в підтягнутому положенні з меншою стрілою провисання.

Спільна оцінка існуючих способів і пристроїв термокомпенсації стріл провисання проводів ЛЕП може бути проведена виходячи з таких передумов:

- а) гранична простота термокомпенсуючих пристроїв;
- б) можливість застосування як на знову споруджуваних, так і на діючих ЛЕП;
- в) збереження уніфікованих конструкцій опор, проводів, елементів кріплення проводів до опор;
- г) мінімальна вага самого пристрою;
- д) виконання поряд з компенсацією стріл провисання проводів інших функцій (демпфірування вібрацій).

Експериментальний зразок термокомпенсатора встановлений на ЛЕП — 110 кВ в Мосенерго.

Висновки

1. Аналіз структурних витрат на спорудження ліній електропередач (ЛЕП) показує, що витрати на проведення і їх монтаж складають 20÷35%, а решта 80÷65% витрачаються на опори, основи під опори, ізоляцію, заземлення. Тому одним із перспективних напрямків є компенсація температурного провисання проводів і тросів повітряних ліній електропередач, що дає змогу збільшити прольоти без зміни висоти підвісу проводу.

2. Пружинні термокомпенсатори можуть бути використані для очищення проводів ЛЕП від снігу та льоду.

3. Збільшити тяжіння в проводах ЛЕП можна, застосовуючи матеріали, що скорочуються при підвищенні температури.

4. Усім вимогам до термокомпенсаторів відповідають активні термокомпенсатори із застосуванням новітніх матеріалів з ефектом пам'яті форми.

Література

1. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Затверджено наказом Міністерства палива та енергетики України від 25.10.2006.
2. *Романенко М.Т.* Термокомпенсация стрел провеса проводов. / М.Т. Романенко, С.С. Вакуленко, В.В. Холодный // Энергетика и электрификация. — 2003. — № 1. — С. 31—33.
3. *Шестеренко В.С.* Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. — Вінниця : Нова Книга, 2011. — 656 с.
4. *Ооцука К.* Сплавы с эффектом памяти формы / К. Ооцука, К. Симидзу, Ю. Судзуки и др. — Пер. з японской под ред. А.М. Глезера. — Москва : Металлургия, 1990. — 225 с.
5. Малогабаритное оборудование и инструмент с силовым приводом из сплава с памятью формы, предназначенные для выполнения ремонтно-монтажных работ / В.А. Барвинок, В.И. Богданович, В.С. Феокт, О.В. Ломовской / Проблемы космической технологии металлов // Праці інституту ім. Патона, 1987. — С. 214—276.
6. Никелид титана и другие сплавы с эффектом памяти формы / И.И. Корнилов, О.В. Белоусов, Е.В. Качур. — Москва : Наука, 1977. — 179 с.
7. *Барвинок В.А.* Разработка реверсивных силовых приводов из материалов с эффектом памяти формы для устройств, применяемых в узлах расчеховки космических аппаратов / В.А. Барвинок, В.И. Богданович, О.В. Ломовской, М.А. Вишняков, А.А. Грошев // Известия Самарского научного центра РАН, 2001. — Т. 13. — С. 74—105.