

В. В Кучанський<sup>1</sup>Є. О. Зайцев<sup>1</sup>

# АНАЛІЗ ВІБРАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДРОТІВ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ ПІД ЧАС ПЛАВЛЕННЯ ОЖЕЛЕДІ

<sup>1</sup> Національна академія наук України Інститут електродинаміки, Київ;

*В статті виконано аналіз взаємозв'язку між струмом плавлення ожеледиці, розподілом температури та вібрацією дротів повітряної лінії електропередавання, який ґрунтується на використанні методу послідовного зв'язку для отримання рівняння зв'язку між електричною та тепловою енергією, яка виділяється в процесі танення ожеледі дротів постійним струмом.*

**Ключові слова:** повітряна лінія електропередавання, плавлення льоду постійним струмом, вібраційні характеристики, онлайн-контроль танення льоду

## Вступ

Дроти високовольтних повітряних ліній електропередавання (ЛЕП) найчастіше знаходяться в незахищеному зовнішньому середовищі. При цьому на можливості безперебійної та безпечної експлуатації ЛЕП впливають характеристики географічного середовища [1-2], кліматичні умови, рельєф і метеорологічні умови вздовж траси, а також явище ожеледі, що утворюється навколо провідника. З урахуванням, того що Україна знаходиться в зоні помірного кліматичного поясу з ознаками, в основному, помірно континентального та частково субтропічного клімату, для якого характерні м'які зими, які, останнім часом, стають теплішими, що у свою чергу призводить до сприятливих умов до налипання мокрого снігу на лінії ЛЕП та подальшим утворенням крижаного покриття, надмірна вага якого в багатьох випадках призводить до руйнування ЛЕП. Так причиною знеструмлень у регіоні багатьох регіонах України зимою 2023-2024 років стала ожеледь на дротах повітряних ліній електропередачі, подекуди вона сягала діаметру у 60-89 мм. Такі значення є рекордними за період спостережень із 1945 року[3].

## Результати дослідження

Для аналізу зв'язку між тепловими характеристиками та вібраційними характеристиками льоду від початку до завершення плавлення льоду проводів електропередачі є необхідним визначити ключові часові точки теплоутворення та споживання струму в процесі плавлення льоду проводів електропередачі [4]. Для визначення точок використаємо метод послідовного зв'язку електротермічної структури. Система онлайн-моніторингу вібрації дротів під час танення ожеледі постійним струмом призначена задля забезпечення збору та аналізу вібропереміщень дроту, товщини шару танення льоду та метеорологічних умов навколишнього середовища лінії електропередачі. Головним чином завдяки збору даних метеорологічних параметрів середовища, таких як температура, напрямок вітру, а також розрахунку товщини льоду на основі методу виявлення ожеледиці отримано значення товщини льоду на дротах. Сенсор моніторингу вібрації розміщено в 5 рівномірно розташованих точках між прольотами, що відповідало 1/8, 2/8, 3/8, 4/8, 6/8 прольоту, з яких сенсор в точці 4/8 є основним, а решта чотири є вторинними точками моніторингу, встановленими на випадок відриву основної точки моніторингу.

Отримано, що зміна температури зовнішньої поверхні та внутрішньої температури проводу передачі під час процесу танення льоду, коли температура навколишнього середовища становить  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при цьому на дріт безперервно подається постійний струм 2000 А. Після початку танення льоду температура дроту та льоду поступово підвищується, поки не стане стабільною, оскільки температура зовнішнього середовища встановлено на рівні  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . У цьому разі зовнішня поверхня шару льоду на дроті завжди залишається незмінною, внутрішнє тепло не може вивільнитися через теплопровідність, внутрішня температура поступово зростає, а температура сталевого осердя вища, тому розподіл

температури дроту під час процесу танення льоду є таким нерівномірний. Отримані розподіли температур проводів для випадку танення льоду з товщиною 5 мм показано на рис. 1. Зв'язок між засоби обробки та іншими частинами системи онлайн-моніторингу вібрації дротів забезпечувався із використанням засобів дистанційного зв'язку [5-6].

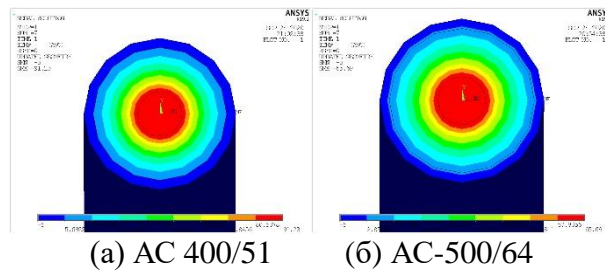


Рис.1 Розподіл температури в проводі ЛЕП

### Висновки

Результати чисельного розв'язання, результати розрахунку моделювання та результати експериментального випробування мають однаковий тренд і закон зміни, а їх розбіжність не перевищують 10%. Отримані сигнали вібропереміщення під час польових досліджень мають нерівномірне тремтіння кривої, яке поступово збільшується під впливом вітрового навантаження, викликаючи коливання вібрації лінії електропередачі. Для двох різних випробувань дроту максимальний коефіцієнт вертикального зміщення середньої точки становить понад 10% від амплітуди вібрації дроту.

Однією із основних складнощів проведеного польового експерименту була необхідність чекати появи льоду на лінії електропередачі для проведення тесту, адже з урахуванням кліматичної зони України є лише дві або три можливості завершити тест на танення льоду та зібрати необхідні дані взимку. Схема встановлення пристрою онлайн-контролю танення льоду постійного струму для провідників наведена на рис. 2.

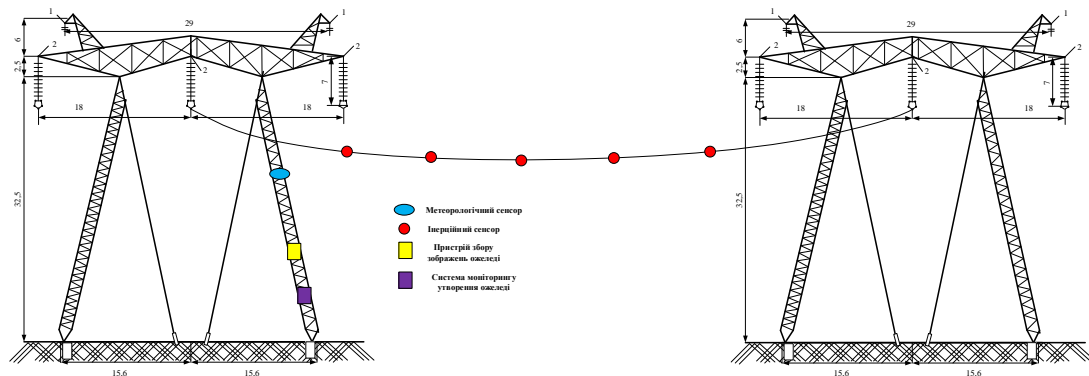
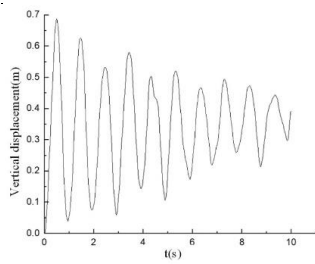
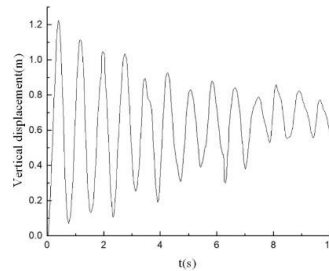


Рис.2 Схема встановлення пристрою онлайн-контролю танення льоду постійним струмом дроту ЛЕП

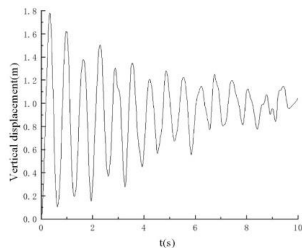
Згідно з вимогами випробування ЛЕП на танення льоду, швидкість зовнішнього вітру повинна бути в межах 5 м/с під час випробування, а дані фактичного вимірювання швидкості зовнішнього вітру, що перевищує необхідну швидкість зовнішнього вітру, не використовуються. Після кількох порівнянь і зборів даних вони були зіставлені між собою. Температура навколишнього середовища вимірювалась в режимі реального часу. Відповідно до вимог випробування мінімальна температура повинна бути в межах необхідної температури танення ожеледі постійним струмом ( $-5^{\circ}\text{C}$ ). Крім того, товщина льоду визначається за допомогою онлайн-відео моніторингу зображень ожеледиці, а загальний об'єм льоду визначається шляхом віднімання вимірюваного об'єму відповідного дроту за допомогою отриманих зображень. Отримані данні, щодо вертикального зміщення середньої точки для різних товщин льоду показано на рис. 3.



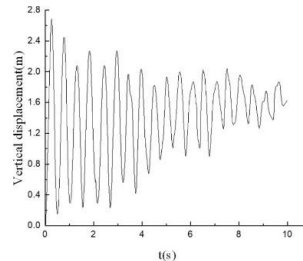
а) товщина 5 мм



б) товщина 10 мм



в) товщина 15 мм



г) товщина 20 мм

Рис.3 Результати польових випробувань дроту АС-400/51

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Кацадзе, Т. ., Н. . Буслова, К. . Новіков, і А. . Ніколаєва. «Математичні моделі моніторингу відкладень ожеледі та зміни стріли провисання проводів повітряних ліній електропередавання». Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України, вип. 68, Вересень 2024, с. 075, doi:10.15407/publishing2024.68.075.
- [2] Кацадзе, Т., В. Баженов, К. Новіков, А. Ніколаєва, і О. Паненко. «Визначення зарядної ємності повітряних ліній електропередачі з урахуванням провисання проводу». Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України, вип. 67, Квітень 2024, с. 039, doi:10.15407/publishing2024.67.039.
- [3] <https://ua.news/ua/ukraine/energetiki-zafiksuvali-rekordnu-ozheled-na-drotah-lep>
- [4] Зайцев Є., Кучанський В., Гуцько І. Підвищення експлуатаційної надійності та ефективності роботи електричних мереж та електроустаткування. Вінниця: ГО «Європейська наукова платформа», 2021. 156 с. DOI: <https://doi.org/10.36074/penereme-monograph.2021>
- [5] Kuchansky V., Zaitsev I. O. (2020) Corona Discharge Power Losses Measurement Systems in Extra High Voltage Transmission Lines. In: 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), Kyiv, Ukraine, pp 48-53. <https://doi.org/10.1109/ESS50319.2020.9160088>.
- [6] I. Zaitsev, A. Levvitskiy, and V. Bereznychenko "Hybrid diagnostics systems for power generators faults: systems design principle and shaft run-out sensors," In: Power systems research and operation: Selected problems, Kyrylenko O., Zharkin A. and other, Eds., Springer, 2021, pp. 71-98. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-82926-1\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-82926-1_4).

**Кучанський Владислав Володимирович** — канд. техн. наук, старший дослідник, старший науковий співробітник відділу оптимізації систем електропостачання, e-mail: [kuchanskiyvladislav@gmail.com](mailto:kuchanskiyvladislav@gmail.com) ;

**Зайцев Євген Олександрович** — д-р техн. наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу теоретичної електротехніки та діагностики електротехнічного обладнання;

**V. V. Kuchansky<sup>1</sup>**

**I. O. Zaitsev<sup>1</sup>**

## Vibration Characteristics Analysis Of Electrical Transmission Line Wires During Ice Melting

<sup>1</sup>National Academy of Sciences of Ukraine Institute of Electrodynamics, Kyiv;

*The article analyzes the relationship between the ice melting current, the temperature distribution and the vibration of overhead power line wires, which is based on the use of the serial connection method to obtain the equation of the connection between electric and thermal energy, which is released in the process of melting the ice of the wires by a surge current*

**Keywords:** overhead power line, direct current ice melting, vibration characteristics, online control of ice melting

**Kuchansky Vladyslav V. — Cand. Sc. (Eng.), Senior Researcher, Doctoral Student of the Department of Power-Supply Systems Optimization, e-mail: [kuchanskiyvladislav@gmail.com](mailto:kuchanskiyvladislav@gmail.com) ;**

**Zaitsev Ievgen O. — Dr. Sc. (Eng.), Senior Researcher, Head of the Chair of Theoretical Electrical Engineering and Diagnostics of Electrical Equipment;**