

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

**Волохін Віталій Васильович**

УДК 620.179

**МЕТОД ТА ПРИСТРІЙ КОНТРОЛЮ ОЖЕЛЕДНО-ПАМОРОЗЕВИХ  
УТВОРЕНЬ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ**

Спеціальність 05.11.13 – прилади і методи контролю  
та визначення складу речовин

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі передачі електричної енергії в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник**

кандидат технічних наук, доцент  
**Шевченко Сергій Юрійович,**  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»,  
професор кафедри передачі  
електричної енергії

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор  
**Сахацький Віталій Дмитрович,**  
Українська інженерно-педагогічна академія,  
завідувач кафедри радіоелектроніки і  
комп'ютерних систем

кандидат технічних наук,  
**Швець Світлана Миколаївна,**  
Східноукраїнський національний університет  
імені Володимира Даля,  
доцент кафедри приладів

Захист відбудеться «11» березня 2010 р. о 14<sup>30</sup> год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.09 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Автореферат розісланий «5» лютого 2010 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Глоба С.М.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Однією з головних задач будь-якої енергосистеми є надійне електропостачання споживачів, котре здійснюється переважно через повітряні лінії електропередавання. В експлуатації повітряні лінії (ПЛ) піддаються постійному впливу зовнішніх факторів, найнебезпечнішими з яких є ожеледно-паморозеві утворення (ОПУ). Ожеледні аварії є найбільш важкими, як правило мають масовий характер і вимагають великих матеріальних витрат на відновлення ушкоджених ліній електропередавання (ЛЕП).

В практиці боротьби з ожеледдю визначилися два напрямки, один із яких пов'язаний зі збільшенням механічної міцності ПЛ. Однак з урахуванням короткочасності періоду небезпечних ожеледних навантажень, що становить  $0,03 \div 0,5\%$  від повного строку експлуатації ПЛ, економічно виправданим є другий напрямок, що передбачає плавку ожеледі електричним струмом підвищеної величини. Ефективність цього способу повністю залежить від своєчасності виявлення появи ожеледі на проводах ПЛ.

Основним параметром ОПУ є товщина стінки ожеледі. При цьому, для раннього виявлення появи ожеледі, що забезпечує своєчасний початок її плавки, необхідні датчики з такою чутливістю, які б забезпечували сигналізацію про появу ОПУ при товщині стінки ожеледі менше 1 мм.

Відомі на сьогоднішній день датчики можливого утворення ожеледі в більшому числі випадків використовують конструктивно-механічну частину ПЛ як елемент власне датчика (введення в підвіску проводу механічних, магнітних або інших датчиків, спорудження контрольних прольотів уздовж ПЛ і т.п.). Подібний підхід вимагає перемонтажу ділянок ПЛ, індивідуального «настроювання» вимірювань при дуже низькій їхній точності. Крім того, функціонування всіх відомих датчиків вимагає наявності в їхньому складі нагрівальних елементів, що споживають певну кількість електроенергії. Тому вирішення науково-практичної задачі створення технічних систем контролю процесу утворення ожеледі, які мають високу чутливість, безінерційні, споживають мало енергії, є актуальним завданням та склало напрямок дисертаційних досліджень.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана на кафедрі передачі електричної енергії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» в рамках робіт держбюджетної теми МОН України „Розробка методів підвищення ефективності транспорту електричної енергії та експлуатаційної надійності електроенергетичних мереж України”, (ДР № 0109U005061), в якій здобувач був виконавцем окремих етапів.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є вдосконалення методів контролю ожеледно-паморозевих утворень шляхом впровадження електромагнітного пристрою на основі відкритого резонатора змінного перерізу, направлено на отримання інформації про початок утворення ожеледі і, тим самим, на підвищення ефективності роботи диспетчерських служб енергосистем.

У рамках поставленої мети сформульовані наступні задачі:

- провести аналіз існуючих на сьогодні методів та засобів контролю ожеледно-паморозевих утворень, а також, інформаційних характеристик, котрі використовуються у даних пристроях;
- побудова й реалізація математичної моделі розподілу внутрішніх електромагнітних полів у відкритих резонаторах змінного перерізу, на основі якої можливе визначення енергетичних та геометричних параметрів датчика раннього виявлення ОПУ;
- оцінка зв'язку електрофізичних характеристик повітря, що заповнює резонатор, зі зміною його резонансної частоти й добротності з урахуванням оптимального визначення необхідних характеристик повітряного середовища;
- розробка електромагнітного пристрою контролю ожеледно-паморозевих утворень, вибір робочої довжини хвилі;
- проведення експериментальних досліджень впливу метеопараметрів на потужність коливань електромагнітного поля (ЕМП) граничного біконічного резонатора;
- оцінка зв'язку ожеледної ситуації, що склалася в області розташування повітряних ліній електропередавання, з експлуатаційними характеристиками ЛЕП;
- розробка технічних рекомендацій щодо побудови мережі відомчих автоматизованих метеопостів для контролю стану атмосфери в області розташування ліній електропередавання.

**Об'єкт дослідження** – процес взаємодії низькоенергетичних електромагнітних полів надвисокої частоти з метеорологічними параметрами повітря в умовах утворення ожеледі.

**Предмет дослідження** – засоби контролю процесу утворення ожеледі на повітряних лініях електропередавання.

**Методи дослідження** базуються на використанні: теорії техніки надвисоких частот та електродинаміки для опису хвильових процесів і побудови математичної моделі розподілу електромагнітного поля у відкритому біконічному резонаторі; теорії диференціального та інтегрального числення для розрахунку складових електромагнітного поля та добротності біконічного резонатора; класичних методів вимірювання амплітудних і частотних характеристик електромагнітних полів при проведенні експерименту та статистична теорія обробки результатів експерименту.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в наступних основних результатах, що виносяться на захист:

- вперше розроблено метод контролю моменту появи ожеледно-паморозевих утворень, суть якого полягає у вимірюванні та фіксації різкої зміни потужності коливань електромагнітного поля граничного біконічного резонатора, розміщеного в області розташування ліній електропередавання, та застосуванні отриманих результатів для оцінки метеообстановки, яка склалася, що, на відміну від аналогів, дозволяє підвищити швидкодію оцінювання метеопараметрів для підтримки прийняття оперативного рішення;

– вперше отримано аналітичні вирази для розрахунку електромагнітного поля у об’ємному граничному біконічному резонаторі (для  $TE$ - та  $TM$ - хвиль) як засобу контролю появи ожеледі, що дозволило оцінити його енергетичні показники та геометричні характеристики;

– удосконалено математичну модель розподілу внутрішніх електромагнітних полів у граничних резонаторах змінного перетину, з врахуванням нерегулярності поперечного перерізу резонатора вздовж його осі та електрофізичних параметрів навколишнього середовища, що дозволяє зробити торці резонатора відкритими та збільшити його чутливість відносно інформаційних параметрів контролю.

**Практична цінність одержаних результатів** роботи для електроенергетичної галузі полягає в наступному:

– розроблено датчик раннього виявлення ОПУ на базі відкритого біконічного резонатора, використання якого дозволить підвищити експлуатаційні характеристики повітряних ліній електропередавання;

– розроблено макет приладу контролю початкового моменту льодоутворення, котрий в комплексі реагує на метеообстановку контрольованого середовища, що дозволяє збільшити швидкодію процесу контролю, а відтак, зменшити час від появи перших ознак ОПУ до прийняття оперативних рішень;

– отримано аналітичні вирази для розрахунку запасеної енергії й добротності відкритого резонатора з урахуванням зміни площі його поперечного перерізу, що дозволило оцінити чутливість засобу контролю на базі резонатора;

– експериментально встановлено залежність потужності коливань ЕМП типу  $E_{010}$  біконічного резонатора від метеопараметрів, котрі сприяють ожеледно-паморозевим утворенням;

– теоретично отримано кількісну оцінку впливу ОПУ на експлуатаційні характеристики ліній електропередавання, із якої слідує, що ожеледно-вітрові навантаження становлять 6–8 % від усіх відмов ПЛ;

– розроблено рекомендації щодо побудови мережі відомчих автоматизованих метеопостів, які включають в себе пропозиції по створенню основних вузлів МВАМ, програмного забезпечення та схем обробки інформації з використанням датчиків контролю початку утворення ОПУ та маси ожеледі.

Результати роботи впроваджено у ВАТ «Сумиобленерго» (м. Суми), АК «Харківобленерго» (м. Харків), а також у навчальний процес кафедри передачі електричної енергії НТУ «ХП» у лекційних курсах «Системоутворюючі мережі» та «Проектування ліній та підстанцій».

**Особистий внесок автора.** Наукові положення і результати, що містяться у дисертації, отримані здобувачем самостійно. Серед них: удосконалення математичної моделі розподілу електромагнітних полів резонаторів змінного перерізу, обґрунтування планів і програм експериментів, виконання досліджень, обробка та узагальнення результатів, участь у впровадженні. Постановка задач досліджень, аналіз і обговорення отриманих результатів виконувалися здобувачем спільно з науковим керівником.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати роботи доповідалися й обговорювалися на: VIII щорічній міжнародній промисловій конференції «Ефективність реалізації наукового, ресурсного та промислового потенціалу в сучасних умовах» (Славське, Львівська область, 2008 р.); XVI міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (Харків, 2008 р.); 3-му Міжнародному радіоелектронному форумі «Прикладна радіоелектроніка. Становище і перспективи розвитку» МРФ-2008. Міжнародна конференція «Електромагнітна сумісність» (Харків, 2008 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» (Харків, 2008р.); 5-ій науково-технічній конференції «Стан електричних мереж обленерго й основні напрямки підвищення їхньої ефективності. Зменшення втрат електроенергії в електромережах» (Кореїз, АР Крим, 2008 р.); II між-народній науково-практичній конференції «Кабельна техніка сучасного рівня й ізоляція. Перегляд «норм і методів випробувань і вимірювань електроустаткування й апаратів електроустановок споживачів»» (Харків, 2008р.).

**Публікації:** За матеріалами дисертації опубліковано 13 робіт, в тому числі 9 статей у фахових наукових виданнях ВАК України, 1 патент України на корисну модель.

**Структура та об'єм роботи.** Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, додатків та списку використаних літературних джерел. Загальний обсяг дисертації складає 169 сторінок, з них 29 рисунків по тексту, 5 таблиць по тексту, 4 додатків на 15 сторінках, список використаних літературних джерел з 132 найменувань на 15 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтовано актуальність та доцільність роботи, сформульовано мету та задачі наукових досліджень, наведено дані про зв'язок роботи з науковими програмами, вказана наукова новизна, практичне значення та реалізація результатів дисертаційних досліджень, наведені дані щодо апробації, публікацій та впровадження результатів роботи.

**У першому розділі** розглянуто можливість використання даних державних метеостанцій для контролю стану об'єктів електричних мереж, наведено класифікацію та проаналізовано сучасні методи та прилади контролю ожеледно-паморозевих утворень. Вказано їх переваги і недоліки, та можливість застосування для потреб електроенергетичної галузі. Встановлено, що існуючі засоби контролю ожеледної обстановки на лініях електропередавання позбавлені необхідної швидкодії та чутливості вимірювання інформаційних параметрів, автоматизованого характеру. Більша частина таких пристроїв потребує переустаткування ПЛ й вимагає індивідуального «настроювання» вимірювань при дуже низькій їхній точності. Із проведеного аналізу встановлено, що для вирішення цих питань найкраще підходить використання в якості датчиків надвисокочастотних (НВЧ) резонаторів у міліметровому діапазоні довжин хвиль.

Пристрої такого типу мають невеликі розміри, споживають незначну кількість електроенергії, безінерційні та при цьому досить чутливі до будь-яких, навіть незначних змін параметрів оточуючого повітря в сторону можливого утворення ожеледі.

У другому розділі удосконалено математичну модель розподілу електромагнітного поля об'ємного граничного біконічного резонатора, метою якої є визначення конструктивних параметрів датчика контролю ОПУ на базі резонатора. Ця задача суттєво відрізняється від розрахунку резонаторів звичайного типу в зв'язку з присутністю в даному випадку нерегулярності вздовж резонатора.

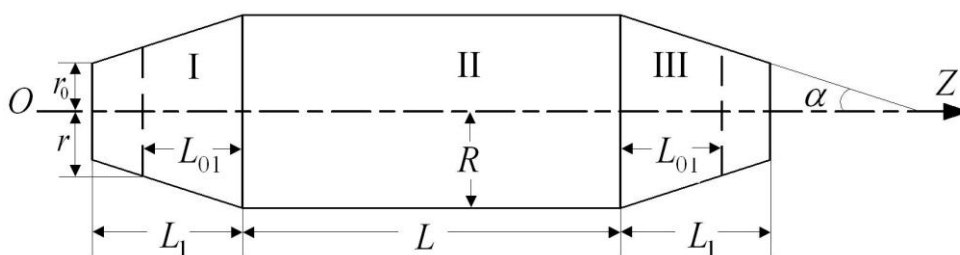


Рис. 1. Схематичне зображення біконічного резонатора

Розглянуто розв'язання скалярного хвильового рівняння Гельмгольца, котре описує внутрішнє електромагнітне поле в граничному біконічному резонаторі. Так як поверхня резонатора описується за допомогою циліндричних координат, то рівняння Гельмгольца має вигляд

$$\frac{1}{r} \left[ \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial \varphi} \right) \right] + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} + k^2 \psi = 0, \quad (1)$$

де  $\psi$  – поздовжня електрична (поперечна магнітна) або поздовжня магнітна (поперечна електрична) скалярна функція в кожній із 3-х частин резонатора,  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  – хвильове число у вільному просторі.

Резонатор має три області, умови розповсюдження електромагнітних хвиль в яких різні. Тому хвильові рівняння розв'язані для кожної з цих областей окремо, а потім отримані розв'язки «зшиті» на їхніх межах.

В області II радіус поперечного перерізу та повздовжнє хвильове число  $\beta$  є постійними величинами, тому (1) розв'язується як звичайне однорідне лінійне диференціальне рівняння 2-го порядку з постійними коефіцієнтами. Розв'язок знаходиться за допомогою методу розділення змінних. У зв'язку з круговою формою поперечного перерізу скалярні функції виражені через функції Бесселя:

$$\psi_{TM}^{\text{II}} = J_m \left( \frac{\mu_{mn}}{R} r \right) \cos(m\varphi) \left[ K_1 e^{-j \sqrt{\omega^2 \varepsilon \mu - \left( \frac{\mu_{mn}}{R} \right)^2} (z-L_1)} + K_2 e^{j \sqrt{\omega^2 \varepsilon \mu - \left( \frac{\mu_{mn}}{R} \right)^2} (z-L_1)} \right], \quad (2)$$

$$\psi_{TE}^{\text{II}} = J_m \left( \frac{\mu'_{mn}}{R} r \right) \cos(m\varphi) \left[ K_3 e^{-j\sqrt{\omega^2 \varepsilon \mu - \left(\frac{\mu'_{mn}}{R}\right)^2} (z-L_1)} + K_4 e^{j\sqrt{\omega^2 \varepsilon \mu - \left(\frac{\mu'_{mn}}{R}\right)^2} (z-L_1)} \right], \quad (3)$$

де  $\mu_{mn}$  –  $n$ -ий корінь функції Бесселя  $J_m(\kappa_{TM}^{\text{II}} r)$ ,  $\mu'_{mn}$  –  $n$ -ий корінь похідної функції Бесселя першого роду,  $\omega = 2\pi f$  – кругова частота електромагнітного поля, що збуджує резонатор;  $\varepsilon$  і  $\mu$  – абсолютна діелектрична й магнітна проникність вмісту хвилеводу, відповідно,  $K_1, K_2, K_3, K_4$  – невідомі коефіцієнти.

Що стосується областей I і III, то, у випадку відносно повільної зміни поперечного перерізу циліндричного хвилевода рівняння для власних скалярних функцій і амплітудних коефіцієнтів можуть бути представлені у тому ж вигляді, що й у області II. Але радіус поперечного перерізу є функцією  $z$ . Для області I маємо

$$R_1(z) = R - (L_1 - z) \operatorname{tg} \alpha.$$

Це призводить до того, що поздовжні  $\beta$  та поперечні хвильові числа будуть також функцією поздовжньої координати. Тому для розв'язання хвильового рівняння в області I використано метод приєднаних функцій. Таким чином, скалярна функція представлена за допомогою функції Ейрі  $v(t(z))$ .

$$\psi_{TM}^{\text{I}} = K_5 J_m \left( \frac{\mu_{mn}}{R - (L_1 - z) \operatorname{tg} \alpha} r \right) \cos(m\varphi) \sqrt[4]{\frac{t_{TM}^{\text{I}}(z)}{[\beta_{TM}^{\text{I}}(z)]^2}} v(t_{TM}^{\text{I}}(z)), \quad (4)$$

$$\psi_{TE}^{\text{I}} = K_6 J_m \left( \frac{\mu'_{mn}}{R - (L_1 - z) \operatorname{tg} \alpha} r \right) \cos(m\varphi) \sqrt[4]{\frac{t_{TE}^{\text{I}}(z)}{[\beta_{TE}^{\text{I}}(z)]^2}} v(t_{TE}^{\text{I}}(z)), \quad (5)$$

$$\text{де } t_{TM}^{\text{I}}(z) = - \left( \frac{3}{2} \int_{L_1-L_0}^z \beta_{TM}^{\text{I}}(z) dz \right)^{\frac{2}{3}}; \quad t_{TE}^{\text{I}}(z) = - \left( \frac{3}{2} \int_{L_1-L_0}^z \beta_{TE}^{\text{I}}(z) dz \right)^{\frac{2}{3}}.$$

В області III резонатора власна функція  $\psi^{\text{III}}$  знаходиться з аналогічних (4) та (5) виразів, але в цьому випадку радіус визначається співвідношенням

$$R_{\text{III}}(z) = R - (z - L - L_1) \operatorname{tg} \alpha.$$

Прирівнюючи на границі між областями I і II та на границі між областями II й III резонатора як самі власні функції, так і їхні похідні по  $z$ , було отримано вирази, за допомогою яких можна зайти невідомі коефіцієнти  $K_1-K_8$  та розрахувати довжину регулярної частини резонатора  $L$ . Коефіцієнти дають амплітудний і фазовий зв'язок між скалярними функціями в кожній із трьох областей. Знаючи функцію  $\psi$  в кожній із трьох областей можна записати всі складові поля на підставі рівнянь Максвелла.



$$\begin{aligned}
L = & \frac{1}{\beta_{TM_{01}}} \arctg \left\{ \left[ \sqrt[4]{\frac{t_{TM}^I(L_1)}{(\beta_{TM}^II)^6}} \left[ \frac{r \mu_{mn} \operatorname{tg} \alpha}{R^2} v(t_{TM}^I(L_1)) \frac{J'_m\left(\frac{\mu_{mn} r}{R}\right)}{J_m\left(\frac{\mu_{mn} r}{R}\right)} + \right. \right. \right. \\
& + v'(t_{TM}^I(z)) \Big|_{z=L_1} \left. \left. \left. (t_{TM}^I(z))' \Big|_{z=L_1} \right] \times \sqrt[4]{\frac{t_{TM}^{III}(L+L_1)}{(\beta_{TM}^II)^2}} v(t_{TM}^{III}(L+L_1)) - \right. \right. \\
& - \sqrt[4]{\frac{t_{TM}^I(L_1)}{(\beta_{TM}^II)^2}} v(t_{TM}^I(L_1)) \times \sqrt[4]{\frac{t_{TM}^{III}(L+L_1)}{(\beta_{TM}^II)^6}} \left[ \frac{r \mu_{mn} \operatorname{tg} \alpha}{R^2} v(t_{TM}^{III}(L+L_1)) \times \right. \\
& \left. \left. \left. \frac{J'_m\left(\frac{\mu_{mn} r}{R}\right)}{J_m\left(\frac{\mu_{mn} r}{R}\right)} + v'(t_{TM}^{III}(z)) \Big|_{z=L+L_1} \left. \left. \left. (t_{TM}^{III}(z))' \Big|_{z=L+L_1} \right] \right] \right] \right\} / \\
& / \left( \sqrt[4]{\frac{t_{TM}^I(L_1)}{(\beta_{TM}^II)^2}} v(t_{TM}^I(L_1)) \times \sqrt[4]{\frac{t_{TM}^{III}(L+L_1)}{(\beta_{TM}^II)^2}} v(t_{TM}^{III}(L+L_1)) + \right. \tag{6} \\
& + \sqrt[4]{\frac{t_{TM}^I(L_1)}{(\beta_{TM}^II)^6}} \left[ \frac{r \mu_{mn} \operatorname{tg} \alpha}{R^2} v(t_{TM}^I(L_1)) \frac{J'_m\left(\frac{\mu_{mn} r}{R}\right)}{J_m\left(\frac{\mu_{mn} r}{R}\right)} + v'(t_{TM}^I(z)) \Big|_{z=L_1} \times \right. \\
& \left. \left. \left. \times (t_{TM}^I(z))' \Big|_{z=L_1} \right] \times \sqrt[4]{\frac{t_{TM}^{III}(L+L_1)}{(\beta_{TM}^II)^6}} \left[ \frac{r \mu_{mn} \operatorname{tg} \alpha}{R^2} v(t_{TM}^{III}(L+L_1)) \times \right. \right. \\
& \left. \left. \left. \frac{J'_m\left(\frac{\mu_{mn} r}{R}\right)}{J_m\left(\frac{\mu_{mn} r}{R}\right)} + v'(t_{TM}^{III}(z)) \Big|_{z=L+L_1} \left. \left. \left. (t_{TM}^{III}(z))' \Big|_{z=L+L_1} \right] \right] \right\} + p \pi,
\end{aligned}$$

де  $p = 0, 1, 2, \dots, n \dots$

Знайдено вираз, що описує добротність біконічного резонатора, котра визначається як відношення накопиченої в резонаторі енергії до середньої потужності втрат. Для розрахунку запасеної енергії та потужності втрат в області I вважалося, що далі  $L_{01}$  (рис.1) від регулярної частини поле не

розповсюджується. Тому початок координат знаходиться в цьому перерізі ( $r = R - (L_{01} - z) \cdot \operatorname{tg} \alpha$ ). В області III запасена енергія та потужність втрат визначаються аналогічними виразами, що й в області I.

Таким чином, власна добротність резонатора визначається виразом

$$Q_0 = \frac{2}{\delta} \cdot \frac{\mu_1}{\mu_{\text{ст}}} \cdot \frac{R^2 \left[ \left( \frac{\beta_{\text{TM}_{01}} \mu'_{01}}{\kappa_{\text{TM}_{01}}^2 R} \right)^2 + 1 \right] B + 2I_1}{2(R \cdot B + 2I_2)},$$

де  $\mu_{\text{ст}}$  – відносна магнітна проникність матеріалу, з якого виготовлені стінки резонатора,  $\mu_1$  – відносна магнітна проникність діелектрика, що заповнює резонатор.

Із аналізу залежності добротності біконічного резонатора з латуні від наведеного радіуса резонатора для хвиль типу  $E_{010}$ , випливає, що зменшення радіуса веде до збільшення втрат резонатора. Власна добротність біконічного резонатора для міліметрового діапазону хвиль типу  $E_{010}$  може становити  $10^5$ , що в чотири – п'ять разів вище теоретичної добротності циліндричних закритих резонаторів.

У третьому розділі розглянуті результати експериментальних досліджень впливу метеорологічної ситуації утворення ОПУ на параметри електромагнітного поля граничного біконічного резонатора.

Для стандартного ряду міліметрових довжин хвиль були розраховані параметри біконічного резонатора (табл. 1). Значення кута  $\alpha$  (рис. 1) було вибрано  $45^\circ$ , так як  $\operatorname{tg} 45^\circ = 1$ . Радіус центральної частини  $R$  та радіус отворів у бокових частинах резонатора  $r_o$  вибиралися з точки зору простоти технології виготовлення. Довжина регулярної частини резонатора  $L$  розраховувалася за формулою, отриманою в розділі 2.

Таблиця 1

Параметри відкритого біконічного резонатора  
в залежності від резонансної довжини хвилі

$\lambda, \text{мм}$	$f, \text{ГГц}$	$R, \text{мм}$	$R, \text{мм}$	$r, \text{мм}$	$r_o, \text{мм}$	$L_{01}, \text{мм}$	$L_1, \text{мм}$	$L, \text{мм}$
2	150	[0,76; 0,97]	0,9	0,59	0,5	0,31	0,4	52,18
4	75	[1,53; 1,94]	1,8	1,17	1,0	0,63	0,8	56,02
8	37,5	[3,05; 3,88]	3,7	2,35	2,0	1,35	1,7	56,12
12	25	[4,58; 5,83]	5,5	3,52	2,5	1,98	3	60,09
16	18,75	[6,11; 7,77]	7,0	4,69	3,0	2,31	4	64,00

де  $\frac{\lambda}{2,62} < R < \frac{\lambda}{2,06}$  – радіус центральної частини;  $r = \frac{\lambda}{3,41}$  – радіус поперечного перерізу конуса, за межами якого електромагнітне поле не існує (початок області

поза межності);  $L_{01} = \frac{R-r}{\operatorname{tg}\alpha}$  – відстань від центральної частини до зони відсічки (тобто, до перерізу  $r$ );  $r_o < r$  – радіус торцевих отворів у бокових стінках резонатора для вільного проникнення повітря;  $L_1 = \frac{R-r_o}{\operatorname{tg}\alpha}$  – довжина I та III частини резонатора.

Із аналізу причин загасання електромагнітних хвиль при різних кліматичних умовах для використання у експерименті були вибрані параметри резонатора із резонансною довжиною хвилі  $\lambda = 16 \text{ мм}$ .

Згідно розрахунків було розроблено засіб контролю появи ОПУ на основі біконічного резонатора. Узагальнена схема засобу представлена на рис. 2.

Рис. 2. Схема експериментальної установки для дослідження резонансних характеристик біконічного резонатора в умовах виникнення ОПУ

Засіб складається з генератора НВЧ коливань 1, з діапазоном перебудови  $13 \div 80$  ГГц, розв'язуючого атенюатора 2, хвилеміра 3 об'ємного біконічного резонатора 6. Рівень сигналу, що надходить до біконічного резонатора, контролювався через спрямований відгалужник 5 термісторним вимірником потужності  $W_1$ . Потужність на виході резонатора реєструвалася через направлений відгалужник 7 термоелектричним ватметром  $W_2$ . Узгоджене навантаження 4 використовується в схемі для зменшення відбиття у лінії передачі, тим самим виключаючи додаткові похибки у вимірюваннях.

Також, із аналізу видів ОПУ, були визначені граничні умови найбільш розповсюджених факторів, при яких можливе виникнення будь-якого виду ОПУ, а саме:

- відносна вологість повітря  $\varphi > 85\%$  ;
- швидкість вітру  $V_v < 10 \text{ м/с}$ .
- температура повітря  $- 6^\circ\text{C} < T_{нов} < +0,5^\circ\text{C}$  ;
- температура проводу  $T_{пр} < - 0,5^\circ\text{C}$  ;

В подальших експериментах використовувалися саме ці кліматичні фактори в різних їхніх поєднаннях.

Результати експерименту представлені на рис.3.

З метою вибору робочого діапазону датчика проведено аналіз чутливості  $S$  в залежності від різних метеофакторів, котрі впливають на утворення ОПУ. На рис. 4 приведені графічні залежності чутливості датчика від температури та відносної вологості повітря. Проаналізувавши графічні залежності, можна зробити висновок, що при збільшенні відносної вологості повітря максимумами чутливості зміщуються в область більш високих температур, а діапазон максимальної чутливості за вологістю становить  $93\% \leq \varphi \leq 98\%$ .

Рис. 3. Залежності відносної потужності коливань біконічного резонатора від температури (а, в, г) та відносної вологості повітря (б)

Для вибору раціонального за чутливістю режиму роботи датчика ОПУ, були проведені багаторазові вимірювання спрацьовування сигналізатора ожеледі під дією вітру та без нього. Також, використовуючи критерій Пірсона, перевірено гіпотезу про нормальний закон розподілу випадкової температури спрацьовування сигналізатора ОПУ (умова  $\chi_{експ}^2 < \chi_{кр}^2$  виконується для рівня значимості  $\alpha = 0,05$ ). Використавши правило  $3\sigma$ , було встановлено поріг спрацьовування сигналізатора ожеледі. А саме, для довірчої ймовірності 0,95, поріг спрацьовування датчика становить  $-4,5^\circ\text{C} \leq T_{нов} \leq -3,5^\circ\text{C}$  для експериментів без вітру, та  $-1,8^\circ\text{C} \leq T_{нов} \leq -0,6^\circ\text{C}$  під дією вітру.

а) б)

Рис. 4. Залежність чутливості датчика від температури а) та вологості повітря б) при  $p_{нов} = 747 \text{ мм.рт.ст.}$ ;  $V_в = 0 \text{ м/с}$ ;

Гістограми експериментального та теоретичного законів розподілу випадкових температур спрацьовування сигналізатора ОПУ показано на рис. 5.

а) б)

Рис. 5. Діаграма експериментальних густин відносної частоти  $w_i/h$  та теоретична крива нормального закону розподілу випадкових температур для експериментів без вітру а) та під дією вітру б)

**У четвертому розділі** проаналізовано вплив ожеледної ситуації на основні показники надійності повітряних ліній електропередавання. Показано, що надійність роботи ПЛ обумовлена великою кількістю факторів. Виявити справжні причини відмов ПЛ і намітити шляхи їхнього запобігання можна тільки на підставі статистичних даних про пошкоджуваність елементів ПЛ. Відмови є єдиним критерієм перевірки правильності практичних рішень і теоретичних передумов.

Із аналізу причин відмов ПЛ слідує, що потік відмов можна розглядати як суму двох потоків: першого виду, пов'язаного із спрацюванням та старінням елементів ПЛ і залежного від терміну дії  $\omega_1(t)$ , і другого виду, не пов'язаного з терміном дії ПЛ  $\omega_2$ , котрий визначається раптовими зовнішніми впливами

$$\omega(t) = \omega_1(t) + \omega_2.$$

Відмови другого виду пов'язані з ожеледно-вітровими перевантаженнями, дефектами монтажу та виготовлення, наїздами на опори, обривами проводів високогабаритними машинами, атмосферними перенапруженнями, пожежами та іншими зовнішніми впливами. Параметр потоку відмов  $\omega_2$  є величиною, незалежною ні від часу експлуатації, ні від періодичності капітальних ремонтів, тобто визначається випадковими чинниками.

Було встановлено, що параметр потоку відмов від надрозрахункових навантажень  $\omega_2$  становить 26–33 % від загальної кількості відмов ПЛ. Кількість відмов ПЛ із-за ожеледно-вітрових навантажень становить 21% від загальної кількості (рис. 6). Інші джерела інформації приводять дані про розподіл відмов

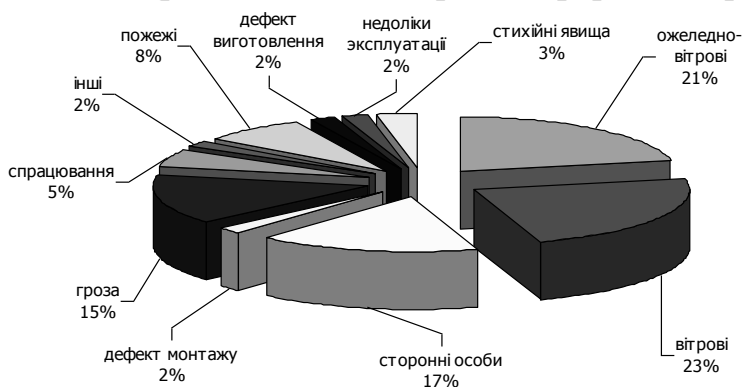


Рис. 6. Причини надрозрахункових порушень на ПЛ

ПЛ в залежності від виду опор. В них ожеледно-вітрові навантаження становлять 15–25%.

Із аналізу причин відмов на лініях електропередавання було зроблено висновок, що своєчасне інформування оперативного персоналу про наближення моменту льодоутворення та відповідні дії зі сторони

персоналу дозволять попередити 6–8% від усіх відмов на ПЛ.

У п'ятому розділі розроблені рекомендації щодо побудови мережі відомчих автоматизованих метеопостів (МВАМ). МВАМ створюється з метою запобігання аварій, пов'язаних з появою ожеледі, шляхом своєчасного попередження оперативного персоналу про можливість і факт появи ожеледі й для вживання заходів по вмиканню установок плавки ожеледі й керування режимом їхньої роботи.

Структура комплексу технічних засобів МВАМ повинна включати 3 рівні (рис. 7):

- нижній рівень – рівень збору й первинної обробки метеоданих. Рівень реалізується власне автоматизованими метеопостами;
- середній рівень – рівень обробки даних для інформаційного забезпечення персоналу оперативного керування на підстанціях і передачі даних на верхній рівень. Рівень може бути реалізований у рамках існуючих автоматичних систем диспетчерського керування (АСДУ) на підстанціях (ПС);
- верхній рівень – рівень обробки, зберігання й накопичення статистичних баз даних, що надходять із усією територією електричних мереж.

Завдання збору та аналізу метеоданих необхідно вирішувати за допомогою системи автоматизованих метеопостів. Комплекс метеопостів й АСДУ повинні виконувати наступні функції:

- вимірювання із заданою циклічністю й точністю метеорологічних параметрів з урахуванням захисту від перешкод;
- передача вимірюваних метеопараметрів, а також службової й діагностичної інформації на автоматизоване робоче місце (АРМ) чергового ПС;
- відображення для оперативного персоналу в реальному часі метеорологічної обстановки на території електричної мережі;
- прогнозування ОПУ на ПЛ та інших конструкціях електромереж і завчасне попередження оперативного персоналу про це;
- попередження про можливі аварії устаткування, викликані обривом ПЛ

й пошкодженням інших конструкцій електромереж під дією вітру й ожеледі.

Метеопости можуть включати як традиційні датчики метеопараметрів (температури повітря  $t^\circ$ , відносної вологості  $\phi$ , вітрильної сили  $Q$ , швидкості вітру  $V$ , напрямку вітру  $\beta^\circ$ ), так і датчики нового типу – датчики маси ОПУ  $G$  та датчик попередження про початок утворення ожеледі  $G_x$  (рис. 8).

Центральним місцем збору поточних метеопараметрів (первинних даних), є АРМ чергового підстанції. На АРМ повинні надходити дані з метеопосту, встановленого на підстанції, а також з визначених лінійних метеопостів, якщо на підстанції встановлена базова станція радіоприйому даних.

Запропоновано здійснювати відображення поточних метеоданих у наступному вигляді. Попереджувальні сигнали «Можливо ОПУ», «Процес ОПУ», «Небезпечний вітер» виводяться на екран монітора АРМ автоматично з подачею звукового сигналу, а також передаються до диспетчерської служби енергосистеми (ДСЕС) і диспетчерського центру (ДЦ) НЕК «Укренерго» (із вказівкою найменування метеопоста). Відеосигнали відображаються на фоні карти регіону в точках розташування метеопоста, що дозволить диспетчерові прийняти рішення щодо оперативних дій на об'єктах.

На запит користувача на екрані подається графічне зображення векторів сил, що діють на еталонний провід. По лініях дії векторів встановлюються значення гранично-допустимих навантажень (вітрового і ожеледного) для ПЛ в зоні метеопосту (навантаження розраховуються за проектними даними ліній).

Поточні дані про ожеледну обстановку ( $G$ ,  $V_{ср}$ ,  $t^\circ$ ) вводяться в програму розрахунку оперативних параметрів плавки ожеледі на ПЛ (програма розрахунку підлягає окремій розробці для кожної підстанції). Протікання ожеледної та вітрової події відображається на екрані у вигляді діаграми  $G$ ,  $V_{ср}$ ,  $Q_{ср}$  (для  $G$ -події) та діаграми  $V_{ср}$ ,  $V_{пор}$ ,  $Q_{ср}$  (для  $V$ -події) як функції часу.

Фіксація  $G$ -події починається по сигналу «Процес ОПУ» і закінчується по факту скидання ОПУ з проводу (після прогріву). Фіксація  $V$ -події починається по сигналу «Небезпечний вітер» і закінчується після  $V_{пор} < 25$  м/с. Указується напрямок вітру на початку й наприкінці подій.

На основі поточних даних формуються добові максимальні значення  $V_{ср}$ , а також максимальні значення  $Q_{ср}$  й  $V_{пор}$ . По закінченню календарного року з добових максимумів  $V_{ср}$ ,  $Q_{ср}$ ,  $V_{пор}$  проводиться вибірка річних максимумів. На АРМ формується база річних статистичних даних по групі всіх метеопостів, що виходять на сервер одного АРМ. Дані бази АРМ передаються на ДЦ НЕК «Укренерго», де формується база багаторічних даних по всіх метеопостах магістральних мереж.

Рис. 8. Загальна схема обробки метеопараметрів

$Q_{ср}$ ,  $V_{ср}$  – середні значення за 2 хв. сили та швидкості вітру;  $V_{пор}$  – швидкість вітру в пориві;  $h_{ек}$  – еквівалентна стінка ожеледі по щільності ОПУ;  
G-події, V-події – ожеледні та вітрові події.

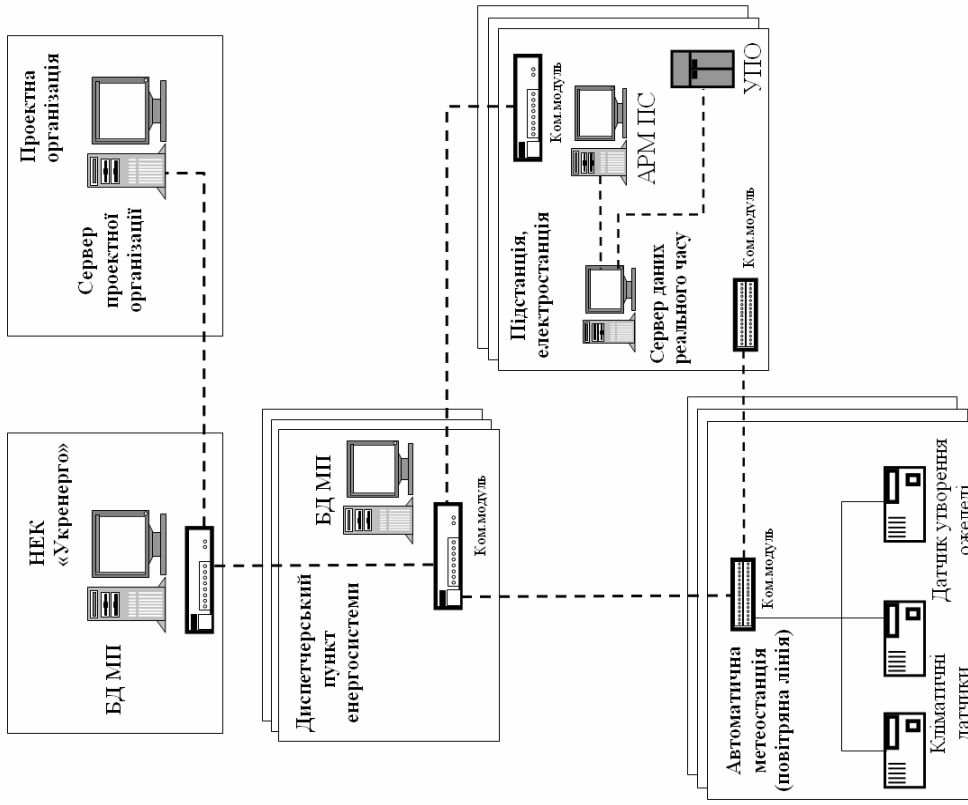


Рис. 7. Структурна схема МВАМ

УПО – установка плавки ожеледі; АРМ ПС –

автоматизоване робоче місце оперативного персоналу підстанції; ком. модуль – комунаційний модуль;

БД МП – статистична база даних метеопараметрів



## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі теоретичних та експериментальних досліджень вирішена науково-практична задача, яка полягає в обґрунтуванні та створенні технічних систем контролю ожеледно-паморозевих утворень для підвищення експлуатаційних характеристик повітряних ліній електропередавання.

Основні висновки та практичні рекомендації дисертації полягають в наступному:

1. В результаті здійсненого аналізу засобів спостереження та вимірювання на метеостанціях було встановлено, що існуюча мережа стандартних метеостанцій не дає можливості надійно охарактеризувати ожеледне навантаження на повітряних лініях електропередавання. А існуючі, на сьогодні, методи та прилади контролю процесу утворення ожеледі на лініях електропередавання мають ряд недоліків, серед яких деяка інерційність, надмірне споживання електроенергії, невисока чутливість, потреба в переустаткуванні ПЛ. Тому існує перспектива створення датчиків утворення ожеледі, підвищення їхньої швидкодії та чутливості, удосконалення з метою автоматизації процесу плавки ОПУ, що є обов'язковими умовами збільшення об'єктивності та ефективності контролю цього явища та роботи ЛЕП в цілому.

2. Із аналізу резонансних методів дослідження електрофізичних характеристик речовин, запропоновано використовувати відкритий біконічний резонатор у міліметровому діапазоні довжин хвиль для контролю стану атмосфери, що знаходиться поблизу точки льодоутворення. З цією метою було побудовано математичну модель, яка дозволяє описувати розподіл внутрішніх електромагнітних полів у відкритих резонаторах змінного перетину, зв'язати параметри резонансного елемента із електрофізичними характеристиками атмосферного повітря та розрахувати параметри біконічного резонатора в залежності від резонансної довжини хвилі.

3. На основі математичної моделі розподілу електромагнітних полів отримано аналітичні вирази для розрахунку електромагнітного поля у відкритому біконічному резонаторі для  $TE$ - та  $TM$ -хвиль, вирази для розрахунку запасеної енергії й добротності відкритого резонатора з урахуванням зміни площі його поперечного перерізу вздовж осі; визначено зв'язок між електрофізичними характеристиками заповнення резонатора й зміною його резонансної частоти й добротності; виконані розрахунки можливих розмірів біконічних резонаторів в залежності від резонансної довжини хвилі.

4. Розроблено засіб контролю початкового моменту льодоутворення, за допомогою якого було досліджено характеристики електромагнітного поля біконічного резонатора на довжині хвилі 16 мм в умовах утворення ОПУ. Для проведення експерименту було проаналізовано основні види ОПУ та визначено граничні умови метеофакторів, котрі сприяють їхньому виникненню. При цьому встановлено, що метеообстановка процесу льодоутворення впливає на потужність коливань електромагнітного поля резонатора, тобто, відбувається зсув резонансної частоти.

5. Показано, що під дією вітру та при мряці утворення ожеледі відбувається при температурах вищих, ніж при замерзанні без вітру. Визначено, що резонатор найбільш чітко реагує на дію вітру тоді, коли його вісь співпадає з напрямком повітряного потоку.

6. При проведенні багаторазових вимірювань спрацьовування сигналізатора ожеледі за різних кліматичних умов та відповідних статистичних розрахунків встановлено максимальні, за чутливістю, робочі діапазони роботи датчика. При довірчій ймовірності 0,95 вони становлять  $-4,5^{\circ}\text{C} \leq T_{нов} \leq -3,5^{\circ}\text{C}$  та  $-1,8^{\circ}\text{C} \leq T_{нов} \leq -0,6^{\circ}\text{C}$  для експериментів без вітру і під дією вітру відповідно.

7. Розглянуто основні показники надійності повітряних ліній електропередавання. Показано, що основні причини ушкодження проводів і грозозахисних тросів – перевищення ожеледних навантажень, зношування від дії вібрації, галоупування й корозії. Також встановлено, що своєчасне інформування оперативного персоналу про наближення моменту льодоутворення дозволить попередити від 6% до 8% усіх відмов на ПЛ. Розроблено пропозиції та рекомендації щодо підвищення надійності повітряних ліній електропередавання.

8. Розроблено технічні рекомендації щодо побудови мережі відомчих автоматизованих метеопостів (МВАМ), як основи підвищення ефективності боротьби з ОПУ шляхом своєчасного оповіщення оперативного персоналу про можливість появи ожеледі. Вони включають в себе пропозиції по створенню основних вузлів МВАМ та схем обробки інформації з використанням сигналізатора утворення ожеледі.

9. Результати роботи впроваджено у ВАТ «Сумиобленерго» (м. Суми), АК «Харківобленерго» (м. Харків), а також у навчальний процес кафедри передачі електричної енергії НТУ «ХПІ» у лекційних курсах «Системоутворюючі мережі» та «Проектування ліній та підстанцій».

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Волохін В.В. Оцінка можливості використання даних державних метеостанцій для контролю стану об'єктів електричних мереж / С.Ю. Шевченко, В.В. Волохін // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2008. – №21. – С. 143–147.

Здобувачем проведено аналіз та оцінку роботи державних метеостанцій, розглянута можливість використання інформації з метеостанцій для контролю стану об'єктів електричних мереж.

2. Волохін В.В. Способы и устройства предупреждения гололедно-изморозевых образований / И.Л. Лебединский, С.Ю. Шевченко, В.В. Волохін // Вісник Сумського Державного Університету. – 2008. – № 2. – С. 21–25.

Здобувачем проведено аналіз методів дослідження атмосферних явищ, що призводять до льодоутворення, а також застосовуваних із цією метою технічних засобів контролю ожеледно-паморозевих утворень.

3. Волохін В.В. Моделирование розподілу електромагнітних полів у відкритому біконічному резонаторі / С.Ю. Шевченко, В.В. Волохін // Методи та

прилади контролю якості. – Івано-Франківськ: Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – 2008. – № 20. – С. 65–69.

Здобувачем удосконалено математичну модель розподілу електромагнітних полів біконічного резонатора, що дозволило зробити його торці відкритими.

4. Волохин В.В. Исследование параметров воздуха с применением резонаторных методов / С.Ю. Шевченко, В.В. Волохин // Прикладная радиоэлектроника. Спец. вып. Том VI. – Харьков: АНПРЭ, ХНУРЭ. – 2008. – С. 114–117.

Здобувачем проведено аналіз резонансних та хвилеводних методів контролю електрофізичних параметрів речовини.

5. Волохин В.В. Современный подход к решению задачи раннего обнаружения гололёдно-изморозевых образований / В.В. Волохин // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2008. – №44. – С. 31–38.

6. Волохин В.В. Розрахунок електромагнітних полів у відкритому біконічному резонаторі / С.Ю. Шевченко, В.В. Волохин // Енергетика та електрифікація – Київ, 2008. – № 11. – С. 36–41.

Здобувачем отримані аналітичні вирази, котрі описують розподіл електромагнітних полів у відкритому біконічному резонаторі.

7. Волохин В.В. Визначення добротності біконічного резонатора / В.В. Волохин // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ» – 2008. – №48. – С. 22–30.

8. Волохин В.В. Дослідження хвильових процесів у відкритому біконічному резонаторі в умовах виникнення ожеледі / С.Ю. Шевченко, В.В. Волохин // Методи та прилади контролю якості. – Івано-Франківськ: Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – 2009. – № 22. – С. 86–91.

Здобувачем отримані залежності потужності коливань електромагнітного поля резонатора від метеофакторів, котрі супроводжують появу ожеледі та проведена обробка результатів.

9. Волохин В.В. Джерела потужності міліметрового діапазону хвиль на діодах Ганна / В.В. Волохин // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ» – 2009. – №14. – С. 119–123.

10. Патент на корисну модель № 31470 Україна, МПК (2006) H02G 7/16. Сигналізатор ожеледі на повітряних лініях електропередач / Піротті Є.Л., Шевченко С.Ю., Волохин В.В.; заявник і патентовласник Нац. техн. ун-т «ХПІ». – № u 2007 13702; заявл. 07.12.2007; опубл. 10.04.2008, Бюл. №7.

Здобувачем запропоновано методу контролю стану атмосфери з використанням граничного резонатора.

11. Волохин В.В. К вопросу использования СВЧ резонаторов для раннего обнаружения ГИО / С.Ю. Шевченко, В.В. Волохин // Эффективность реализации научного, ресурсного, промышленного потенциала в современных условиях: Материалы Восьмой ежегодной международной конференции, 11-15 февраля 2008 г., п. Славское, Карпаты – Киев: УИЦ «НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИЯ», 2008. – С. 434–436.

Здобувачем зроблено огляд ожеледної ситуації, що склалася останнім часом на лініях електропередавання України.

12. Волохін В.В. Підвищення ефективності контролю ожеледно-паморозевих утворень із використанням резонаторів надвисокої частоти / С.Ю. Шевченко, В.В. Волохін // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Матеріали XVI міжнар. наук.-практ. конф., 4-6 червня 2008 р. Харків: у 2 ч. (Ч. 1). – Харків: НТУ «ХП», 2008. – С. 469.

Здобувачем проведено обґрунтування вибору засобів реєстрації ожеледно-паморозевих утворень на лініях електропередавання.

13. Волохін В.В. Сверхвысокочастотный датчик регистрации гололёдо-изморозевых образований / С.Ю. Шевченко, В.В. Волохін // Электрические сети и системы. – 2009. – № 1. – С. 44–46.

Здобувачем запропоновано варіант боротьби з ожеледдю в електроенергетичному господарстві шляхом створення мережі метеопостів.

## АНОТАЦІЇ

**Волохін В.В. Метод та пристрій контролю ожеледно-паморозевих утворень для підвищення експлуатаційних характеристик ліній електропередавання.** – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2009.

Дисертація присвячена дослідженню проблемних питань, пов'язаних з розробкою технічних систем контролю ожеледно-паморозевих утворень (ОПУ), котрі забезпечують поліпшення експлуатаційних характеристик ліній електропередавання, шляхом своєчасного оповіщення оперативного персоналу про наближення моменту льодоутворення. В роботі представлено аналіз сучасних засобів контролю ОПУ, виявлено їх недоліки та запропоновано використовувати граничний біконічний резонатор для контролю початкового моменту льодоутворення. Із цією метою, вдосконалено математичну модель, що дозволяє зв'язати параметри резонансного елемента з електрофізичними характеристиками атмосферного повітря й розрахувати параметри біконічного резонатора. Розроблено структурну схему пристрою контролю початкового моменту льодоутворення на основі біконічного резонатора. Здійснено ряд експериментальних досліджень, проаналізована чутливість датчика контролю ОПУ. Проведено аналіз причин відмов повітряних ліній електропередач, що дозволило кількісно оцінити вплив ожеледно-вітрових навантажень на експлуатаційні характеристики лінії. Крім того, розроблені технічні рекомендації зі створення мережі відомчих автоматизованих метеопостів, що створюється з метою запобігання аварій, пов'язаних з появою ожеледі, шляхом своєчасного попередження оперативного персоналу про можливість і факт появи ОПУ.

**Ключові слова:** *технічні засоби для дослідження впливу кліматичних факторів, прилади контролю надійності промислового обладнання і передаварійних ситуацій, метеорологічні параметри, низькоенергетичні електромагнітні поля, ожеледно-паморозеві утворення, резонансна частота.*

**Волохин В.В. Метод и устройство контроля гололёдно-изморозевых образований для повышения эксплуатационных характеристик линий электропередач. – Рукопись.**

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – приборы и методы контроля и определения состава веществ. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2009.

Диссертация посвящена исследованию проблемных вопросов, связанных с разработкой технических систем контроля гололедно-изморозевых образований (ГИО), которые обеспечивают улучшение эксплуатационных характеристик линий электропередач, путем своевременного оповещения оперативного персонала на подстанциях о приближении момента льдообразования.

В работе представлен анализ средств наблюдений и измерений на метеостанциях, из которого было установлено, что существующая сеть стандартных метеостанций не дает возможности надежно охарактеризовать гололедную нагрузку на воздушных линиях электропередач. Многочисленные значительные расхождения между величинами метеопараметров, измеренными на метеостанциях, и фактическими их значениями непосредственно на объектах различного назначения, лежат в основе стремлений электроэнергетических организаций осуществлять специализированные измерения этих параметров. Поэтому, для решения задачи регистрации ГИО разработано большое количество способов и устройств, из анализа которых следует, что они энергоёмки, лишены необходимого быстродействия контроля, достаточной чувствительности измерений информационных параметров.

Из анализа резонансных методов исследования электрофизических характеристик веществ, предложено использовать граничный биконический резонатор в миллиметровом диапазоне длин волн для контроля состояния атмосферы, которая находится вблизи точки льдообразования. С этой целью была усовершенствована математическая модель, которая позволяет описывать распределение внутренних электромагнитных полей в открытых резонаторах переменного сечения, связать параметры резонансного элемента с электрофизическими характеристиками атмосферного воздуха и рассчитать параметры биконического резонатора в зависимости от резонансной длины волны.

Разработана структурная схема устройства контроля начального момента льдообразования, с помощью которого были исследованы характеристики электромагнитного поля биконического резонатора в условиях образования ГИО. При этом рассмотрены предельные условия наиболее распространенных метеофакторов, при которых возможно возникновение любого вида ГИО.

Осуществлён ряд экспериментальных исследований, проанализирована чувствительность датчика контроля ГИО. Показано, что случайная температура срабатывания сигнализатора ГИО подчиняется нормальному закону распределения.

Проведён анализ причин отказов воздушных линий электропередач, который позволил сделать количественную оценку влияния гололедно-ветровых нагрузок на эксплуатационные характеристики линии.

Кроме того, разработаны технические рекомендации по созданию сети ведомственных автоматизированных метеопостов, которая создается с целью предотвращения аварий, связанных с появлением гололеда, путем своевременного предупреждения оперативного персонала о возможности и факте появления ГИО.

**Ключевые слова:** *технические средства для исследования влияния климатических факторов, приборы контроля надежности промышленного оборудования и предаварийных ситуаций, метеорологические параметры, низкоэнергетические электромагнитные поля, гололёдно-изморозевые образования, резонансная частота.*

**Volokhin V.V. The Method and Device for Control of Glaze and Rime Formations to Increase the Operating Characteristics of Transmission Lines. – Manuscript.**

Thesis for PhD degree on speciality 05.11.13 – Devices and Methods for Control and Determination of Substance Content. – National technical university "Kharkiv polytechnic institute", Kharkiv, 2009.

Dissertation is devoted to investigation of the problem questions dealing with the development of technical control systems for glaze and rime formations (GRF). These systems improve the field performance of transmission lines via timely warning of operations staff about the forthcoming ice formation moment.

The work represents the analysis of the modern means for GRF control, reveals their drawbacks and suggests the usage of the open biconical resonator to control the initial ice formation moment. With this aim the mathematical model is improved, that enables linking the features of the resonant element to electro physical characteristics of the atmospheric air and to calculate biconical resonator parameters. There was worked out the structure diagram of the device controlling the initial ice formation moment on the basis of the biconical resonator. A number of experimental investigations were carried out, the sensitivity of GRF control sensor was analyzed. The reasons for failure of overhead transmission lines were analyzed, that enabled to evaluate quantitatively the influence of glaze and wind loads on operational characteristics of a line. In addition, there were developed technical recommendations as to the building of the network of notifying automatized meteoposts, which is created in order to prevent accidents over glaze via timely warning of the operating staff about the possibility and fact of GRF appearance.

**Keywords:** *technical tools for investigation of the influence of climatic factors, devices for control of the reliability of the industrial equipment and emergency situation, meteorological parameters, low-energy electromagnetic fields, glaze and rime formations, resonance frequency.*