

УДК 621.315.175

**ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ
УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО
МОНІТОРИНГУ ХАРАКТЕРИСТИК ОЖЕЛЕДЕ-ПАМОРОЗЕВИХ
ВІДКЛАДЕНЬ НА ПРОВОДАХ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ**

О. М. Мороз, доктор технічних наук, професор

М. М. Черемісін, кандидат технічних наук, професор

О. А. Савченко, кандидат технічних наук, доцент

О. О. Мірошник, доктор технічних наук, доцент

С. В. Дюбко, асистент

*Харківський національний технічний університет сільського
господарства ім. П. Василенка*

E-mail: moroz.an@ukr.net

Анотація. *Наведено результати досліджень можливостей застосування технологій ультразвукового контролю для дистанційного моніторингу характеристик ожеледе-паморозевих відкладень на проводах повітряних ліній електропередавання. Запропоновано використання ультразвукових давачів товщини відкладення, які закріплюються безпосередньо на поверхні контрольованого елемента лінії, що дозволяє зменшити ступінь впливу конструктивних елементів пристрою на умови утворення ожеледе-паморозевих відкладень в точках контролю, підвищити точність визначення товщини відкладень в умовах галопування, вібрацій контрольованого елемента, забезпечити можливість контролю товщини відкладень в декількох радіальних напрямках і в результаті покращити якісні та кількісні показники отримуваної інформації. В якості прикладу реалізації описано пристрій для дистанційного контролю характеристик ожеледе-паморозевих відкладень на проводі повітряної лінії, оснащений чотирма ультразвуковими давачами товщини відкладення та чотирма парами «випромінювач-приймач» для визначення швидкості розповсюдження ультразвуку у відкладенні. Обґрунтовано алгоритм роботи пристрою. Показано, що отримані від пристрою дані дозволяють персоналу електричних мереж контролювати моменти виникнення та зникнення ожеледе-паморозевих відкладень, його форму, розміри та щільність, що забезпечить більш точне визначення необхідних параметрів режиму плавлення відкладень і, як наслідок, сприятиме зниженню кількості неефективних плавлень.*

Ключові слова: *ожеледе-паморозеві відкладення, технологія ультразвукового контролю, повітряна лінія електропередавання, дистанційний моніторинг*

Актуальність. Останнім часом в електроенергетичній галузі набувають поширення автоматизовані системи моніторингу, які забезпечують контроль процесу утворення ожеледе-паморозевих відкладень (ОПВ) на проводах повітряних ліній електропередавання (ПЛ). Такі системи дозволяють реалізувати одну з ключових характеристик інтелектуальних електричних мереж (Smart Grid) – моніторинг параметрів навколишнього середовища та характеристик ПЛ (температура проводів, габарити лінії і т.д.) в режимі реального часу. Тому розробка і удосконалення пристроїв для контролю характеристик ОПВ на ПЛ є актуальним напрямком [1–3].

На даний час існує значна кількість пристроїв для контролю характеристик ожеледе-паморозевих відкладень, зокрема їх товщини та виду, в яких використовуються різні технології, але всі вони мають недоліки, які в основному пов'язані з низькою точністю вимірювань та недосконалістю конструкції.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В джерелі [4] запропоновано пристрій для контролю характеристик ОПВ на проводах ПЛ, до функціональних можливостей якого входить визначення величини відкладень на проводі на основі тривалості їх пробного плавлення. Недоліком даного пристрою є низька точність визначення величини відкладень, що пов'язано з можливістю однакового часу пробного плавлення ОПВ різних розмірів при їх різних щільностях (різних видах відкладень), відсутність можливості визначення товщини відкладень на проводі в декількох радіальних напрямках (форми відкладень) та виду ОПВ.

Відомі пристрої контролю товщини ожеледного відкладення на проводах ПЛ, принцип дії яких базується на використанні технології обробки зображень [5]. Основними недоліками подібних пристроїв є складність отримання чітких

зображень проводу ПЛ в умовах поганої видимості (туман, опади), які є характерними під час утворення ОПВ.

В ряді пристроїв для контролю товщини ОПВ на проводі ПЛ пропонується використовувати ультразвуковий (УЗ) метод, наприклад [6]. В даних пристроях УЗ перетворювачі пропонується закріплювати на деякій відстані від проводу. Товщина ОПВ визначається як різниця відстаней від перетворювача до поверхні проводу та від перетворювача до поверхні ОПВ. Недоліком даних пристроїв є ймовірність розміщення перетворювачів на шляху потоку повітря, який приносить переохолоджену атмосферну вологу, що може привести до суттєвого зниження точності вимірювань товщини ОПВ на проводі.

Пристрій [7] дозволяє дистанційно контролювати товщину ОПВ в одній з точок на поверхні проводу в режимі реального часу за допомогою датчика, який працює на основі лазерної триангуляції. Пристрій закріплюється на проводі ПЛ і має корпус, всередині якого розміщено модуль живлення, приймально-передавальний модуль та модуль електроніки для обробки даних вимірювання. Датчик вимірювання товщини ОПВ розміщено в окремому корпусі, який кріпиться до основного корпусу пристрою за допомогою кронштейна. Датчик має джерело лазерного випромінювання, яке направлено на поверхню проводу зверху вниз під деяким кутом до вертикальної осі. Лазерний пучок, що відбивається від поверхні ОПВ, зміщується в залежності від товщини останнього. Зміщення пучка реєструється за допомогою світлочутливого елемента – ССD-матриці. За величиною зміщення лазерного пучка визначається товщина ОПВ. Одним з недоліків даного пристрою є невдале розташування датчика вимірювання товщини ОПВ, яке може впливати на умови утворення відкладень в точці контролю на проводі. Це пов'язано з можливістю розміщення даного елемента пристрою на шляху потоку повітря, який приносить переохолоджену атмосферну вологу, що може привести до суттєвого зниження товщини відкладення, наявного на проводі в точках, віддалених від місця закріплення пристрою, особливо у випадку намерзання шару льоду на поверхні корпусу згаданого датчика і утворення захисного «зонта».

Іншим недоліком пристрою є вплив галопування, вібрацій проводу на точність визначення товщини ОПВ, оскільки при цьому провід зазнає просторового зміщення відносно давача вимірювання товщини відкладень.

До недоліків даного пристрою необхідно також віднести можливість контролю товщини ОПВ лише в одній з точок на поверхні проводу та відсутність функції встановлення виду ОПВ, що призводить до низької інформативності і, як наслідок, не дозволяє персоналу електричних мереж з високим ступенем достовірності оцінювати та прогнозувати поведінку елементів ПЛ в складних метеорологічних умовах. Так, наприклад, для підвищення точності розрахунку необхідного струму плавлення необхідною є інформація про товщину ОПВ в кожному з радіальних напрямків навколо проводу, а також про вид відкладень, що не дозволяє отримати даний пристрій.

Мета дослідження – розробка пристрою дистанційного моніторингу характеристик ожеледе-паморозевого відкладення на проводі ПЛ на основі використання технологій ультразвукового контролю, позбавленого вищевказаних недоліків.

Матеріали і методи дослідження. Для дистанційного контролю характеристик ожеледе-паморозевого відкладення на проводі, грозозахисному тросі або кабелі ПЛ пропонується використати ультразвукові давачі товщини відкладення, які закріплюються безпосередньо на поверхні контрольованого елемента лінії, що дозволяє зменшити ступінь впливу конструктивних елементів пристрою на умови утворення ОПВ в точках контролю, підвищити точність визначення товщини відкладень в умовах галопування, вібрацій контрольованого елемента, забезпечити можливість контролю товщини відкладень в декількох радіальних напрямках і в результаті покращити якісні та кількісні показники отримуваної інформації. На рис. 1 зображено функціональну схему пристрою, а на рис. 2 – головний вигляд пристрою та ультразвукових давачів товщини відкладення і випромінювачів, що закріплені на поверхні проводу ПЛ. На рис. 3 подано виносний елемент А, вказаний на рис. 2, на якому у збільшеному вигляді наведено ультразвукові давачі товщини

відкладення і випромінювачі, що закріплені на поверхні проводу. На рис. 4 у збільшеному вигляді подано розріз Б-Б, вказаний на рис. 2.

Пристрій дистанційного контролю характеристик ОПВ має засіб для кріплення на проводі, грозозахисному тросі або кабелі ПЛ та корпус, всередині якого розміщено модуль живлення, приймально-передавальний модуль, та модуль електроніки з обробки даних вимірювання, а також щонайменше один ультразвуковий давач контролю товщини відкладення, який закріплено безпосередньо на поверхні контрольованого елемента лінії. Пристрій може бути додатково оснащений щонайменше однією парою «випромінювач-приймач» УЗ сигналу, яка забезпечує контроль швидкості розповсюдження ультразвуку у відкладенні і, на основі цього, більш точне визначення товщини ОПВ та ідентифікацію його виду.

Розміщення УЗ давача товщини ОПВ, який має незначні розміри, безпосередньо на проводі, грозозахисному тросі або кабелі ПЛ, на деякій відстані від корпусу пристрою, знижує ступінь впливу конструктивних елементів пристрою на умови утворення відкладень в точці контролю, а отже дозволить з більшою точністю визначати розмір відкладення, наявного на проводі в точках, віддалених від місця закріплення пристрою.

Жорсткий зв'язок у системі «контрольований елемент лінії – давачі товщини ОПВ» забезпечує високу точність вимірювань в умовах галопування, вібрацій контрольованого елемента.

Використання декількох УЗ давачів, рівномірно закріплених на поверхні проводу (або грозозахисного тросу чи кабеля) в одному з його поперечних перерізів, забезпечить можливість контролю процесу наростання відкладень в декількох радіальних напрямках, а отже унеможливить випадки неефективної роботи пристрою при появі односторонніх видів відкладень, дозволить підвищити точність розрахунку параметрів режиму плавлення ОПВ.

Додаткове оснащення пристрою щонайменше однією парою «випромінювач-приймач» УЗ коливань дозволить вимірювати швидкість розповсюдження ультразвуку у відкладенні в кожному конкретному випадку, а

значить забезпечити необхідну точність визначення товщини ОПВ. Окрім цього, за величиною швидкості розповсюдження УЗ коливань може бути ідентифіковано вид відкладення та його щільність, що також дозволить підвищити точність розрахунку параметрів режиму плавлення ОПВ.

Результати досліджень та їх обговорення. Нижче в якості прикладу реалізації описано пристрій для дистанційного контролю характеристик ОПВ на проводі ПЛ, оснащений чотирма ультразвуковими давачами товщини відкладення та чотирма парами «випромінювач-приймач» для визначення швидкості розповсюдження ультразвуку у відкладенні.

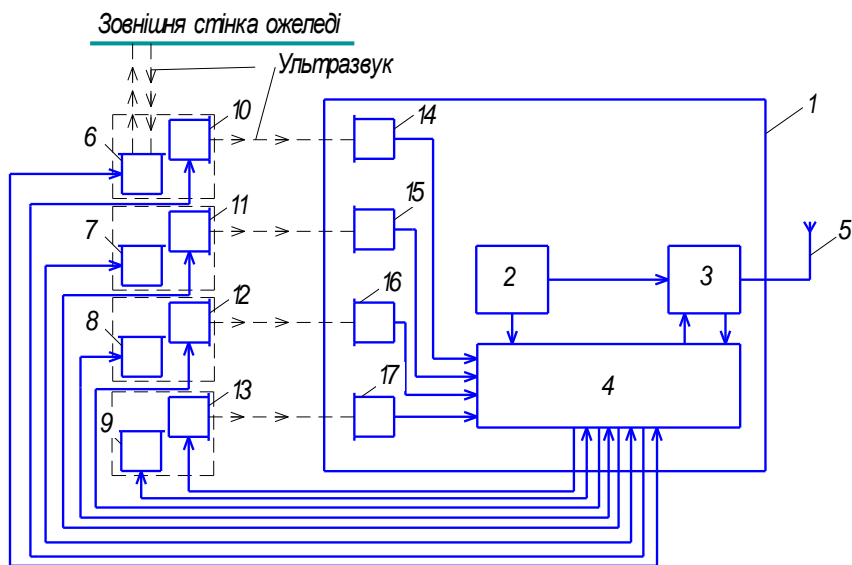


Рис. 1. Функціональна схема пристрою

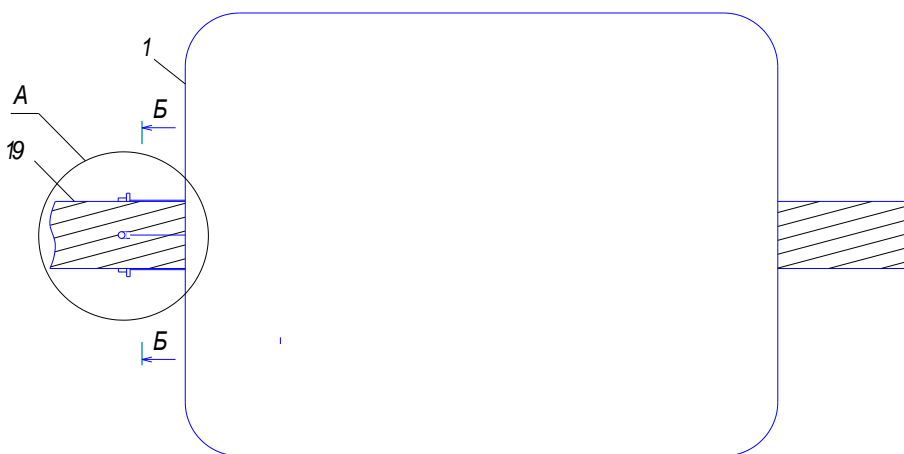


Рис. 2. Головний вигляд пристрою та ультразвукових давачів товщини відкладення і випромінювачів, що закріплені на поверхні проводу ПЛ

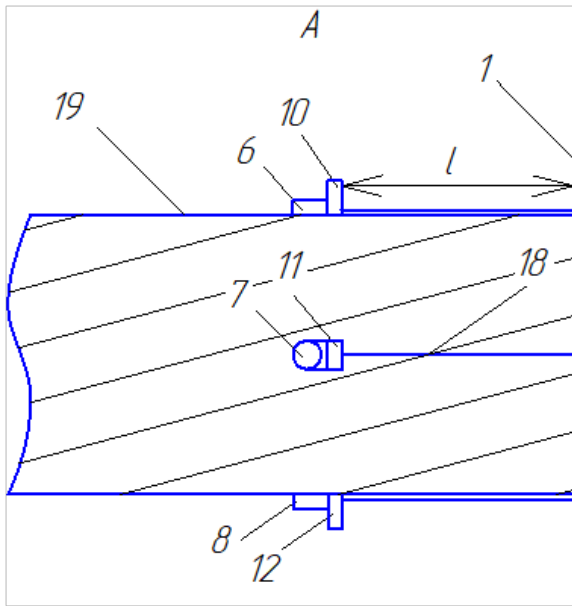


Рис. 3. Виносний елемент А, вказаний на рис. 2

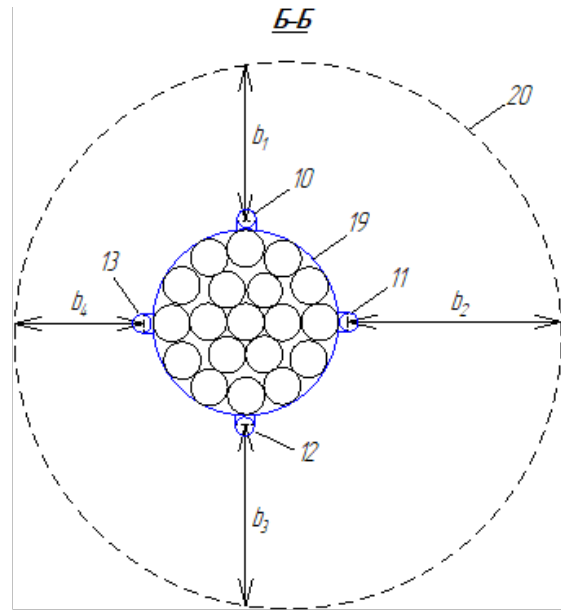


Рис. 4. Розріз Б-Б, вказаний на рис. 2, у збільшеному вигляді

Корпус пристрою 1, всередині якого розміщено модуль живлення 2, приймально-передавальний модуль 3, що з'єднаний з антеною 5, та модуль електроніки з обробки даних вимірювання 4, закріплено на проводі 19 ПЛ. На певній відстані l від корпусу пристрою 1 на поверхні проводу в одному з його поперечних перерізів рівномірно закріплені ультразвукові давачі товщини ОПВ 6–9, які забезпечують вимірювання розмірів відкладень в чотирьох радіальних напрямках (наприклад, розмірів b_1 , b_2 , b_3 , та b_4 відкладення неправильної форми 20), та ультразвукові випромінювачі 10–13, що орієнтовані паралельно до осі проводу в напрямку відповідних приймачів ультразвуку 14–17, які змонтовані в корпусі 1 пристрою. Давачі товщини відкладення та випромінювачі ультразвукового сигналу з'єднані з модулем електроніки з обробки даних вимірювання за допомогою проводів 18, що закріплені на поверхні проводу.

Пристрій працює таким чином. У випадку виникнення метеоумов, за яких можливе утворення ОПВ, з диспетчерського пункту надходить команда переходу пристрою з режиму очікування в режим вимірювання характеристик ОПВ, яка приймається приймально-передавальним модулем 3. У випадку, якщо пристрій оснащено давачами метеопараметрів (наприклад, температури та

вологості повітря), то команда про перехід в режим вимірювання характеристик ОПВ може формуватись модулем електроніки з обробки даних вимірювання 4 пристрою. В режимі вимірювання характеристик ОПВ до давачів товщини відкладення 6–9 по проводах 18 надходять електричні імпульси, які викликають у давачах ультразвукові коливання незначної тривалості, що розповсюджуються у радіальному напрямку від поверхні проводу. У випадку відсутності на проводі ПЛ ожеледного відкладення ультразвукові коливання не мають можливості відбитися від його зовнішньої стінки і повернутись назад до давача, відповідно у модулі 4 формується сигнал «Ожеледь відсутня». Як тільки хоча б на одній зі сторін проводу утворюється ОПВ, ультразвукові коливання, сформовані у давачі 6, 7, 8 або 9, відбиваються від зовнішньої стінки відкладення, повертаються у відповідний давач, де перетворюються в електричний імпульс, який по проводах 18 надходить у модуль електроніки з обробки даних вимірювання. Після цього в даному модулі формується сигнал «Ожеледь на проводі» і визначаються періоди часу t_1 , t_2 , t_3 та t_4 , протягом яких ультразвукові коливання пройшли шлях від відповідного давача 6, 7, 8 або 9 до зовнішньої стінки ОПВ 20 та повернулись назад. Для забезпечення точності вимірювання електричні імпульси до давачів 6, 7, 8 та 9 повинні надходити неодноразово, з деяким часовим зсувом.

Після формування сигналу «Ожеледь на проводі» в модулі електроніки 4 починають вироблятись електричні імпульси, які по проводах 18 подаються по чергово до випромінювачів 10–13 (з деяким часовим зсувом), які перетворюються в ультразвукові коливання. Останні проходять відрізок довжиною l від одного з випромінювачів 10, 11, 12 або 13 до відповідного приймача 14, 15, 16 або 17 через ожеледне відкладення, яке утворилось на одній або декількох сторонах проводу. У приймачах 14–17 ультразвуковий сигнал перетворюється в електричний імпульс, який надходить до модуля електроніки з обробки даних вимірювання 4. На основі часу проходження ультразвуку $t_{в-п i}$ від

i -го випромінювача до відповідного приймача визначається швидкість його розповсюдження у даному відкладенні

$$c_i = \frac{l}{t_{6-n_i}}. \quad (1)$$

Якщо ОПВ утворилось на декількох сторонах проводу, то за розрахункове приймається середнє значення швидкості.

$$c_{сер} = \frac{c_1 + c_2 + c_3 + c_4}{4}. \quad (2)$$

Оскільки швидкість розповсюдження ультразвуку в ОПВ залежить від його щільності [8], то за нею може бути визначено вид відкладення.

Після цього в модулі електроніки з обробки даних вимірювання розраховуються товщини відкладення в кожному з радіальних напрямків

$$b_i = \frac{c_{сер} \cdot t_i}{2}. \quad (3)$$

Далі інформація про ожеледну обстановку на ПЛ (сигнал «Ожеледь відсутня» або «Ожеледь на проводі», у випадку наявності ожеледі на проводі – вид ОПВ, товщина відкладення в кожному з радіальних напрямків b_1, b_2, b_3, b_4) передається за допомогою приймально-передавального пристрою 3 на диспетчерський пункт. Процес вимірювання та передавання даних повторюється з певною періодичністю (наприклад, 5 хвилин).

У випадку, якщо ОПВ опадає з проводу природнім шляхом або внаслідок проведення його плавлення, зворотній електричний імпульс від давачів 6–9 зникає. В такому випадку в модулі електроніки з обробки даних вимірювання 4 формується сигнал «Ожеледь відсутня», який передається на диспетчерський пункт.

У випадку зникнення метеоумов, за яких можливе утворення ОПВ, пристрій переходить у режим очікування.

Таким чином, отримані від пристрою дані дозволяють персоналу електричних мереж контролювати моменти виникнення та зникнення ОПВ, його форму, розміри та щільність (вид), що забезпечить більш точне визначення необхідних параметрів режиму плавлення відкладень і, як наслідок, сприятиме зниженню кількості неефективних плавлень.

Висновки і перспективи. Запропоновано пристрій дистанційного моніторингу характеристик ожеледе-паморозевого відкладення на проводі, грозозахисному тросі або кабелі ПЛ на основі використання технологій ультразвукового контролю. Пристрій може використовуватись в системах очищення проводів, грозозахисних тросів або кабелів ПЛ від ОПВ для автоматичної сигналізації про початок утворення відкладень та контролю їх характеристик в режимі реального часу. Отримані від пристрою дані дозволяють персоналу електричних мереж контролювати моменти виникнення та зникнення ОПВ, його форму, розміри та вид, що забезпечить більш точне визначення необхідних параметрів режиму плавлення відкладень.

Список літератури

1. Савченко О. А. Перспективні шляхи вдосконалення автоматизованих систем контролю утворення ожеледі на ПЛ / О. А. Савченко, С. В. Дюбко // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка Випуск 175 "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". – Харків: ХНТУСГ, 2016. – С.20 - 22.

2. Черемісін М. М. Ефективність моніторингу повітряних ліній електропередавання в ожеледних районах / М. М. Черемісін, С. В. Попов, О. А. Савченко, К. О. Шкуро, О. В. Пархоменко // Наукові праці Донецького національного технічного університету, № 2 (15) 2013. – Донецьк: ДНТУ, 2013. – С. 261-264.

3. Білаш І. П. Задачі моніторингу повітряних ліній електропередавання в ожеледних районах / І. П. Білаш, О. А. Савченко, О. В. Пархоменко // Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2011. – вип. 117. – С.13-15

4. А.с. СССР № 1418839, МКИ Н 02 G 7/16. Устройство для обнаружения и контроля наличия гололеда на воздушных линиях / Черемисин Н. М., Казак В. И., Зубко В. М., Бабенко П. Г., Сериков С. А. Опубл. 23.07.1988 г., Бюл. №31.

5. Пат. CN 101430195 А Китайська Народна Республіка, МПК G06T7/00, G01B11/06. Метод визначення товщини льоду на повітряних лініях електропередавання на основі технології обробки відеосигналу / Сан Фенг Жі, Хе Вонг, Фан Жі Кінг, опубл. 13.05.2009 р.

6. Пат. CN 102506780 В Китайська Народна Республіка, МПК G01B17/02, G01S11/14. Спосіб контролю обмерзання лінії електропередач / Вонг Ю Хен, опубл. 20.11.2013 р.; Пат. CN 102589618 А Китайська Народна Республіка, МПК G01D21/02, G01B17/02. Інтелектуальний метод моніторингу стану обмерзання проводів ліній електропередач / Хе Кінг, Лу Хі Фенг, Ду Донг Мей, опубл. 18.07.2012 р.

7. Пат. US 9078512 В2 Сполучені Штати Америки, МПК G01B11/06, G01K13/00, H01F27/02, G01R31/08, G01N27/22, H01F27/22, A46B9/02, H01R4/28, G01R19/00, G01D11/30, G01R1/22, G01R1/20, H01F38/30, H02G1/02, H04N5/225, G01W1/14. Портативний пристрій для вимірювання товщини льоду на проводах повітряних ліній електропередач з автономним живленням / Мюррей В. Девіс, опубл. 14.06.2015 р.

8. Лебедев Г. А. Распространение электромагнитных и акустических волн в морском льду / Г. А. Лебедев, К. К. Сухоруков. – СПб.: Гидрометеиздат, 2001. – 82 с.

References

1. Savchenko, O. A., Diubko, S. V. (2016). Perspektivni shliakhy vdoskonalennia avtomatyzovanykh system kontroliu utvorennia ozheledi na PL [Perspective ways to improve the automated control systems for the formation of ice on the OL]. Visnyk KHNTUSH im. Petra Vasylenka Issue 175 "Problems of Energy Supply and Energy Saving in the AIC of Ukraine". Kharkiv: KhNTUSG, 20 - 22.

2. Cheremisin, M. M., Popov, S. V., Savchenko, O. A., Shkuro, K. O., Parkhomenko, O. A. (2013) Perspektivni shliakhy vdoskonalennia avtomatyzovanykh system kontroliu utvorennia ozheledi na PL [Efficiency of monitoring of transmission lines in iced areas]. Naukovi pratsi Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu, 2 (15). 261-264.

3. Bilash, I.P., Savchenko, O. A., Parkhomenko, O. A. (2011), Zadachi monitorynhu povitrianykh liniy elektropredavannia v ozhelednykh raionak [Tasks of monitoring of overhead transmission lines in iced areas]. Problems of energy supply and energy conservation in the AIC of Ukraine. - Kharkiv: KhNTUSG them. P. Vasilenko, 117, 13-15.

4. A.S. USSR No. 1418839, ICI H 02 G 7/16. Ustroystvo dlya obnaruzheniya i kontrolya nalichiya gololeda na vozdushnykh liniyakh [Device for detecting and monitoring the presence of ice on the air lines]. Cheremisin, N. M, Kazak, V. I, Zubko V. M, Babenko P. G, Serikov, S. A. 23.07.1988, Bul. №31.

5. Pat. CN 101430195 A Chinese Republic, IPC G06T7 / 00, G01B11 / 06. Method for determining the thickness of ice on transmission lines on the basis of video

signal processing technology / San Feng Zhi, He Wong, Fang Zhi King, published. May 13, 2009.

6. Pat. CN 102506780 B Republic of China, IPC G01B17 / 02, G01S11 / 14. Method of control of icing of the transmission line / Wong Yu Hing, published. 20.11.2013; Stalemate. CN 102589618 A The People's Republic of China, IPC G01D21 / 02, G01B17 / 02. Intelligent method for monitoring the state of icing of wires of power lines / He King, Lu Hy Feng, Du Dong Mei, published. 18.07.2012.

7. Pat. US 9078512 B2 United States of America, IPC G01B11 / 06, G01K13 / 00, H01F27 / 02, G01R31 / 08, G01N27 / 22, H01F27 / 22, A46B9 / 02, H01R4 / 28, G01R19 / 00, G01D11 / 30, G01R1 / 22, G01R1 / 20, H01F38 / 30, H02G1 / 02, H04N5 / 225, G01W1 / 14. Portable device for measuring the thickness of ice on wires of overhead power lines with autonomous power supply / Murray V. Davis, pub. June 14, 2015

8. Lebedev, G. A, Sukhoruko, K K (2001). Rasprostraneniye elektromagnitnykh i akusticheskikh voln v morskoy l'du [Propagation of electromagnetic and acoustic waves in sea ice]. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 2001. - 82 p.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЙ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ
ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ХАРАКТЕРИСТИК
ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПРОВОДАХ ВЛ**

*А. Н. Мороз, Н. М. Черемисин, А. А. Савченко,
А. А. Мирошник, С. В. Дюбко*

Аннотация. *Приведены результаты исследований возможностей применения технологий ультразвукового контроля для дистанционного мониторинга характеристик гололедно-изморозевых отложений на проводах воздушных линий электропередачи. Предложено использование ультразвуковых датчиков толщины отложения, которые закрепляются непосредственно на поверхности контролируемого элемента линии, что позволяет уменьшить степень влияния конструктивных элементов устройства на условия образования гололедно-изморозевых отложений в точках контроля, повысить точность определения толщины отложений в условиях пляски, вибраций контролируемого элемента, обеспечить возможность контроля толщины отложений в нескольких радиальных направлениях и в результате улучшить качественные и количественные показатели полученной информации. В качестве примера реализации описано устройство для дистанционного контроля характеристик гололедно-изморозевых отложений на проводе воздушной линии, которое оснащено четырьмя ультразвуковыми датчиками толщины отложения и четырьмя парами «излучатель-приемник» для определения скорости распространения ультразвука в отложении. Обоснованно принцип работы устройства. Определено, что полученные от устройства данные позволяют персоналу электрических сетей контролировать моменты*

возникновения и исчезновения гололедно-изморозевых отложений, его форму, размеры и плотность, что обеспечит более точное определение необходимых параметров режима плавки отложений и, как следствие, будет способствовать снижению количества неэффективных плавок.

Ключевые слова: *гололедно-изморозевые отложения, технология ультразвукового контроля, воздушная линия электропередачи, дистанционный мониторинг.*

INVESTIGATION OF THE OPPORTUNITIES OF APPLICATION OF ULTRASONIC CONTROL TECHNOLOGIES FOR REMOTE MONITORING OF CHARACTERISTICS OF FROZEN DEPOSITS ON WIRES OF OVERHEAD TRANSMISSION LINES

*O. M. Moroz, M. M. Cheremisin, O. A. Savchenko,
O. O. Miroshnyk, S. V. Diubko*

Abstract. *Results of researches of possibilities of application of technologies of the ultrasonic control for remote monitoring of characteristics of ice-frost deposits on wires of overhead power lines are given. The use of ultrasonic thickness sensors is proposed, which are fixed directly to the surface of the monitored line element, which makes it possible to reduce the degree of influence of the structural elements of the device on the conditions for the formation of ice-frost deposits in control points, to increase the accuracy of determining the deposition thickness in the conditions of dancing, the vibrations of the controlled element, control the thickness of deposits in several radial directions and, as a result, improve the quality and Qualitative indicators of the received information. As an example of implementation, an apparatus for remote monitoring of the characteristics of ice-frost deposits on an air line wire is described which is equipped with four ultrasonic deposition thickness sensors and four pairs of "emitter-receiver" for determining the propagation velocity of ultrasound in the deposition. The principle of operation of the device is justified. It is determined that the data received from the device allows the personnel of electrical networks to monitor the occurrence and disappearance of ice-frost deposits, its shape, size and density, which will provide a more accurate determination of the necessary parameters of the melting mode of deposits and, as a consequence, will reduce the number of ineffective meltings.*

Key words: *ice-frost deposits, ultrasonic control technology, overhead power line, remote monitoring.*