

М. М. Черемісін¹
 О. А. Савченко¹
 А. І. Серeda¹
 С. В. Дюбко¹

КОРОТКОСТРОКОВЕ ПРОГНОЗУВАННЯ СУПУТНІХ МЕТЕОПАРАМЕТРІВ ОЖЕЛЕДЕУТВОРЕННЯ НА ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЯХ НА ОСНОВІ МЕТОДУ ЧАСОВИХ ВІКОН

¹Харківський національний технічний університет сільського господарства
 імені Петра Василенка

Запропоновано метод прогнозування супутніх метеопараметрів ожеледеутворення на ПЛ на основі методу часових вікон з використанням апарату теорії штучних нейронних мереж.

Ключові слова: повітряна лінія електропередавання, ожеледь, штучна нейронна мережа.

Вступ

Найефективнішим способом запобігання ожеледно-вітрових аварій на повітряних лініях електропередавання (ПЛ) є плавлення відкладень. Ефективність плавлення багато в чому визначається організацією цього процесу [1]. Особливо це стосується почергового плавлення ожеледі на групі взаємозв'язаних за режимом плавлення ПЛ [2]. Суттєвий вплив на тривалість плавлення ожеледі створює температура повітря та швидкість вітру. Використання в розрахунках часу плавлення відкладень середньостатистичних значень цих величин або значень, наявних на момент плавлення ожеледі на першій за чергою ПЛ, може привести до неуспішних плавлень, оскільки зниження температури повітря або підвищення швидкості вітру в процесі плавлення відкладень сприяє зростанню часу плавлення. Прогнозування даних параметрів дозволяє точніше визначити величину струму плавлення та моменти вмикання схеми плавлення, що в свою чергу сприяє зниженню кількості неуспішних плавлень. Точність прогнозування температури повітря та швидкості вітру державною гідрометеослужбою для таких цілей не можна вважати прийнятною. В цих умовах доцільним є розробка автоматизованих систем моніторингу параметрів ожеледеутворення в окремих точках ПЛ [3, 4], які мають функцію прогнозування.

Метою дослідження є підвищення ефективності плавлень ожеледі на ПЛ на основі короткострокового прогнозування супутніх метеопараметрів ожеледеутворення.

Результати дослідження

На основі рівняння теплового балансу проводу, вкритого ожеледдю, [5], можуть бути отримані функціональні залежності часу плавлення ожеледі від струму плавлення та відповідні графіки. Наприклад, на рис. 1 показані графіки залежностей часу плавлення ожеледі товщиною 15 мм від струму плавлення для проводу марки АС-70/11 за різних значень температури повітря. Швидкість вітру для всіх випадків взята 5 м/с. Так, за температури повітря $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ та струму плавлення 500 А час плавлення становить близько 15 хвилин, а у разі зниження температури до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ та за того ж струму плавлення час знімання відкладень зростає до 28 хвилин.

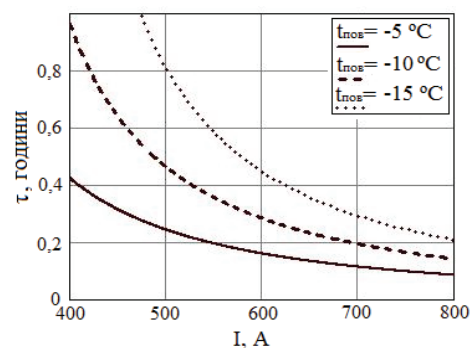


Рис. 1. Графіки залежності часу плавлення ожеледі товщиною 15 мм від струму плавлення для проводу марки АС-70/11 за різних значень температури повітря

Швидкість вітру також суттєво впливає на тривалість плавлення ожеледі. На рис. 2 показані графіки залежностей часу плавлення ожеледі товщиною 15 мм від струму плавлення для проводу марки АС-70/11 за різних значень швидкості вітру. Температура повітря прийнята рівною $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Як видно, зі зростанням швидкості вітру від 5 до 25 м/с тривалість плавлення ожеледі збільшується в 1,25...1,5 рази.

На основі вищесказаного можна зробити висновок про суттєвий вплив цих метеопараметрів на тривалість плавлення відкладень.

Енергопостачальні компанії, які мають на своєму балансі ПЛ, що проходять в кліматичних районах з високою інтенсивністю утворення ожеледі, останнім часом щораз частіше впроваджують автоматизовані системи моніторингу ожеледеутворення [3, 4]. Такі системи, як правило, забезпечують контроль параметрів ожеледеутворення в режимі реального часу, зокрема температури повітря та швидкості вітру. В такому випадку база даних цих величин може слугувати вихідною інформацією для їх прогнозування.

На основі проведеного аналізу існуючих методів та моделей прогнозування величин різної природи встановлено, що одним з найадекватніших інструментів для прогнозування ожеледеутворення є апарат теорії штучних нейронних мереж [3, 6—8]. Штучні нейронні мережі здатні реалізувати функції передбачення і класифікації за наявності навчальних послідовностей. В їх основі лежить нейронна організація штучних систем, яка має біологічні передумови.

У зв'язку з відсутністю достатньої за обсягом та достовірної інформації про метеопараметри ожеледеутворення для території України, навчання та тестування штучної нейронної мережі проводилось на вибірках погодинних рядів температури повітря та швидкості вітру з бази даних гідрометеослужби США за зимовий період 2007—2008 років для метеостанції «Фітчбург» (штат Масачусетс), які знаходяться у вільному доступі [9]. Поставлена задача короткострокового прогнозування даних величин з горизонтом прогнозу 12 годин.

Для реалізації прогнозуальної моделі використано метод ковзаючих часових вікон. Цей метод полягає у використанні двох вікон W_i та W_0 з фіксованими розмірами n і m , відповідно. Вікна переміщуються з деяким кроком по часовій послідовності історичних даних, починаючи з першого елемента, і призначені для доступу до даних часового ряду, причому перше вікно W_i , отримавши такі дані, передає їх на вхід мережі, а друге W_0 — на вихід. Кожний наступний вектор отримується в результаті зсуву вікон W_i та W_0 вправо на один елемент. Передбачається наявність прихованих залежностей в часовій послідовності як множині спостережень. Нейронна мережа, навчаючись на спостереженнях і налаштовуючи свої коефіцієнти, намагається виявити ці залежності і сформулювати бажану функцію прогнозу.

Задача прогнозу сформульована таким чином:

для наявного часового ряду

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n),$$

де x_1, x_2, \dots, x_n — дійсні числа,
побудувати його продовження

$$X' = (x_1, x_2, \dots, x_n, x_{n+1}, \dots, x_{n+12}).$$

Навчання та тестування штучної нейронної мережі проведено в середовищі STATISTICA. Всього використано 3648 спостережень за період з 01.11.2007 по 31.03.2008 року. Вибірка даних розбита на навчальну (75 %) та контрольну (25 %) підвибірки.

Навчання та тестування нейронної мережі для прогнозу часового ряду по температурі повітря проводилось за таких налаштувань:

- розмір вхідного вікна — 12;
- тип мережі — багатошаровий перцептрон;
- мінімальне число прихованих нейронів — 8;

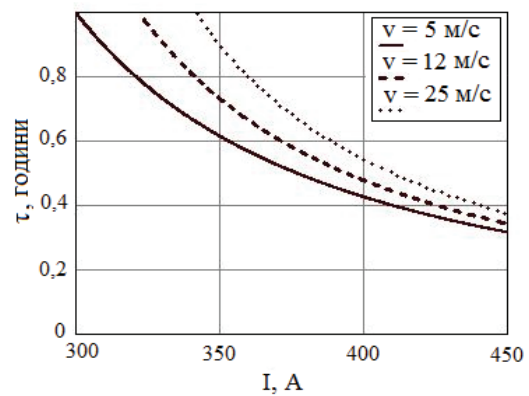


Рис. 2. Графіки залежностей часу плавлення ожеледі товщиною 15 мм від струму плавлення для проводу марки АС-70/11 за різних значень швидкості вітру

- максимальне число прихованих нейронів — 16;
- функції активації прихованих нейронів — тотожна, логістична, гіперболічна, експоненціальна;
- функція активації вихідного нейрону — логістична, гіперболічна, експоненціальна;
- функція помилки — сума квадратів.

В результаті процесу навчання згенеровано 5 моделей (табл. 1), з яких обрана одна, з найкращим результатом прогнозу — модель за № 5.

Таблиця 1

Архітектура та характеристики відібраних нейронних мереж для прогнозу температури повітря під час ожеледеутворення

Номер мережі	Архітектура	Продуктивність навчання	Контрольна продуктивність	Помилка навчання	Контрольна помилка	Функція активації схованих нейронів	Функція активації вихідних нейронів
1	12-10-1	0,865228	0,870427	6570,377	6300,913	експонента	гіперболічна
2	12-14-1	0,871817	0,872645	6271,457	6200,580	експонента	логістична
3	12-12-1	0,863530	0,870964	6648,314	6279,583	експонента	експонента
4	12-10-1	0,857851	0,868141	6902,783	6401,707	логістична	гіперболічна
5	12-8-1	0,869382	0,872923	6384,830	6195,479	експонента	логістична

Ця модель має архітектуру 12-8-1 (12 спостережень, які подаються на вхід, 8 нейронів в прихованому шарі та один нейрон на виході мережі).

На рис. 3 показаний приклад кривих змін температури повітря для прогнозних та реальних значень. В результаті розрахунків на випадковій вибірці з 12 значень встановлено, що середня відносна похибка прогнозу температури повітря склала близько 21 %.

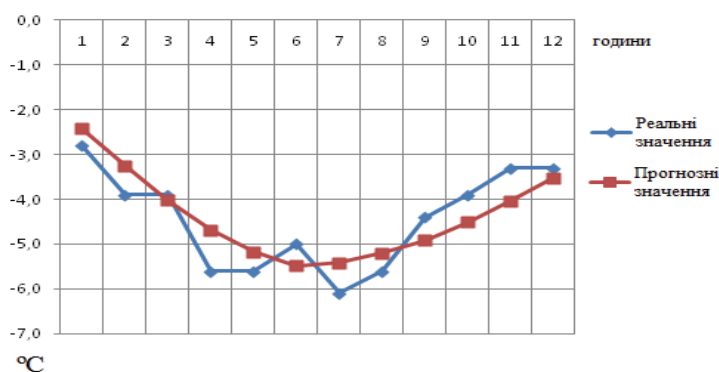


Рис. 3. Прогнозний та реальний часові ряди температури повітря

Для прогнозу часового ряду за швидкістю вітру модель будувалася за такими ж налаштуваннями, як і для попередньої моделі. В результаті отримана оптимальна нейронна мережа з архітектурою 12-10-1, з логістичною функцією активації прихованих нейронів та експоненціальною функцією активації вихідного нейрону. Результати прогнозу проілюстровані на рис. 4. Середня відносна похибка прогнозу швидкості вітру на випадковій вибірці з 12 значень склала 17,3 %.

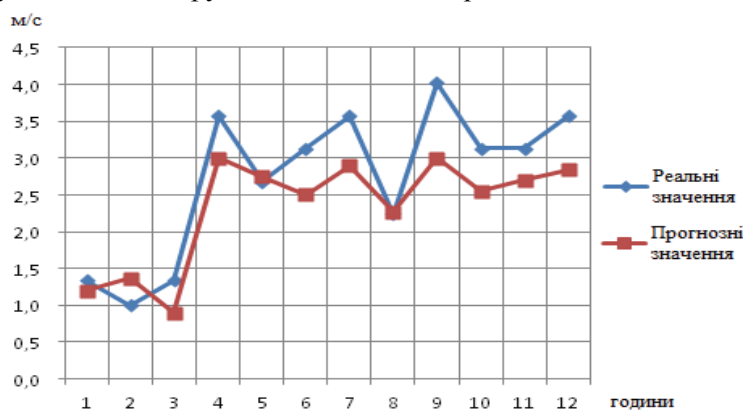


Рис. 4. Прогнозний та реальний часові ряди швидкості вітру

Висновки

Прогнозування супутніх метеопараметрів ожеледеутворення, зокрема температури повітря та швидкості вітру, може успішно виконуватись зусиллями енергокомпаній на основі історичних рядів цих величин, наявних в базі даних автоматизованих систем моніторингу ПЛ. Одним з доцільних інструментів для реалізації прогнозних моделей є апарат теорії штучних нейронних мереж.

В результаті моделювання встановлено, що середня відносна похибка прогнозу температури повітря складає близько 21%, тоді як похибка прогнозу швидкості вітру складає 17,3%. Враховуючи специфіку та призначення такого прогнозування, його результат можна оцінити як прийнятний.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Формирование ведомственной системы сбора метеоданных в условиях эффективного оптового рынка электроэнергии / [Н. Н. Титов, М. С. Доценко, С. И. Доценко и др.] // Праці інституту електродинаміки НАН України. Спеціальний випуск. Енергетичні ринки: перехід до нової моделі ринку двосторонніх контрактів і балансуючого ринку. — К. : 2009. — С. 41—48.
2. Савченко О. А. Тактика поведінки персоналу електричних мереж в умовах утворення ожеледі на ПЛ / О. А. Савченко, С. М. Дудніков // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. — 2013. — Вип. 13. — Т. 5. — С. 58—61.
3. Ефективність моніторингу повітряних ліній електропередавання в ожеледних районах / [М. М. Черемісін, С. В. Попов, О. А. Савченко та ін.] // Наукові праці Донецького національного технічного університету. — 2013. — № 2 (15). — Донецьк: ДНТУ. — С. 261—264.
4. 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.
5. Методические указания по плавке гололеда переменным током. Ч.1. : МУ 34-70-027-82. — М. : СПО Союзтехэнерго, 1983. — 114 с.
6. Haykin S. Neural Networks. A Comprehensive Foundation / S. Haykin // Upper Saddle River : Prentice Hall, 1999. — 842 p.
7. Кононюк А. Ю. Нейронні мережі і генетичні алгоритми / А. Ю. Кононюк. — К. : вид-во «Корнійчук», 2008. — 446 с. — ISBN 978-966-7599-50.
8. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика / Ф. Уоссермен. — М. : Мир, 1992.
9. National Centers for Environmental Information [Electronic resource] // National oceanic and atmospheric administration. — Access mode: <https://www.ncdc.noaa.gov>. — Title from the screen.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 12.10.2017

Черемісін Микола Михайлович — канд. техн. наук, професор, професор кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту;

Савченко Олександр Анатолійович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту;

Серета Анатолій Іванович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту;

Дюбко Станіслав Вікторович — асистент кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту, e-mail: stanislavdiubko@gmail.com .

Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка, Харків

M. M. Cheremisin¹
O. A. Savchenko¹
A. I. Sereda¹
S. V. Diubko¹

Short-term Forecasting of Related Meteorological Parameters of Ice Formation on Overhead Power Lines Based on the Time Windows Method

¹Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture

There has been proposed a method for predicting the accompanying meteorological parameters of glaze formation on the OPL based on the apparatus of the theory of artificial neural networks.

Keywords: overhead power line, ice, artificial neural network.

Cheremisin Mykola M. — Cand. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Power Supply and Energy Management;

Savchenko Oleksandr A. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Power Supply and Energy Management;

Sereda Anatoliy I. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Power Supply and Energy Management;

Diubko Stanislav V. — Assistant of the Chair of Power Supply and Energy Management, e-mail: stanislavdiubko@gmail.com

Н. М. Черемисин¹
А. А. Савченко¹
А. И. Серeda¹
С. В. Дюбко¹

Краткосрочное прогнозирование сопутствующих метеопараметров гололедообразования на воздушных линиях на основе метода временных окон

¹Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко

Предложен метод прогнозирования сопутствующих метеопараметров гололедообразования на ВЛ на основе метода временных окон с использованием аппарата теории искусственных нейронных сетей.

Ключевые слова: воздушная линия электропередачи, гололед, искусственная нейронная сеть.

Черемисин Николай Михайлович — канд. техн. наук, профессор, профессор кафедры электроснабжения и энергетического менеджмента;

Савченко Александр Анатольевич — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электроснабжения и энергетического менеджмента;

Серeda Анатолий Иванович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электроснабжения и энергетического менеджмента;

Дюбко Станислав Викторович — ассистент кафедры электроснабжения и энергетического менеджмента, e-mail: stanislavdiubko@gmail.com