

УДК 621.315.175

М.М. ЧЕРЕМІСІН¹ (канд. техн. наук, проф.), С.В. ПОПОВ² (докт. техн. наук, ст. н. сп.),О.А. САВЧЕНКО¹ (канд. техн. наук), К.О. ШКУРО², О.В. ПАРХОМЕНКО³¹ Харківський національний технічний університет сільського господарства
імені Петра Василенка² Харківський національний університет радіоелектроніки³ Феодосійський високовольтний район електричних мереж ПАТ «Крименерго»
savoa@ukr.net

ЕФЕКТИВНІСТЬ МОНІТОРИНГУ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ В ОЖЕЛЕДНИХ РАЙОНАХ

Запропоновано загальні принципи побудови автоматизованих систем моніторингу повітряних ліній електропередавання в ожеледних районах, що дозволяє проводити вибір апаратної та програмної частин таких систем. Обґрунтовано підхід щодо прогнозування параметрів процесу утворення ожеледі на основі нейронних мереж.

Ключові слова: повітряна лінія електропередавання, автоматизована система моніторингу, система контролю утворення ожеледі, режим плавлення ожеледі, гібридний нейронподібний елемент.

Постановка проблеми. Повітряні лінії електропередавання (ПЛ) працюють в умовах впливу на них численних експлуатаційних і метеорологічних факторів. Найбільш небезпечними є екстремальні метеорологічні впливи у вигляді сполучень ожеледних та вітрових навантажень на проводи та грозотроси ПЛ. Такі впливи є випадковими метеорологічними явищами, які, як правило, одночасно охоплюють великі райони, мають масовий характер і тому приносять значні матеріальні збитки. Статистичні дані показують, що середній період повторюваності масових ожеледно-вітрових аварій в розподільних електричних мережах України складає 10 років. Без електричної енергії на декілька діб залишаються цілі райони електричних мереж. Найефективнішим способом запобігання ожеледно-вітрових аварій є плавлення відкладень. Ефективність плавлення визначається не тільки режимом плавлення, але й своєчасністю його початку та закінчення, його оптимальною тривалістю та можливістю регулювання струму плавлення. Для задоволення цих вимог ПЛ повинна бути оснащена автоматизованою телеметричною системою контролю процесу утворення ожеледі, яка здатна в масштабі реального часу забезпечувати персонал електромереж інформацією про стан контрольованих елементів лінії та параметри метеорологічних впливів на ПЛ. Особливо актуальним є питання розроблення систем контролю, що забезпечують прогнозування параметрів процесу утворення ожеледі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В [1] відмічається, що система контролю утворення ожеледі повинна, в першу чергу, здійснювати моніторинг метеопараметрів, які характеризують процес виникнення відкладень, а саме температури повітря, швидкості вітру, розмірів та ваги відкладень. В [2] запропоновано концепцію формування відомчої системи збирання метеоданих, яка забезпечує моніторинг згаданих параметрів. На відміну від даної роботи, в [3] увага звертається на необхідність програмного комплексу, який дозволяє визначати параметри режиму плавлення на взаємозалежних ПЛ (струм плавлення, тривалість знімання відкладень на кожній з ПЛ, черговість плавлень на ПЛ). Таким чином, аналіз літератури показав, що в існуючих роботах недостатньо уваги приділено функції прогнозування параметрів процесу утворення ожеледі.

Мета статті. Метою дослідження є формулювання загальних принципів побудови автоматизованих телеметричних систем контролю процесу утворення ожеледі, що мають функцію прогнозування метеопараметрів.

Основні матеріали дослідження. Автоматизована система контролю процесу утворення ожеледі повинна бути складовою частиною більш функціональної автоматизованої системи моніторингу ПЛ (АСМ), яка дозволить контролювати механічні й електричні параметри лінії в умовах мінливого зовнішнього середовища. Це дасть можливість у більшій мірі використовувати закладені ресурси ПЛ (механічні, електричні), а також приймати адекватні керуючі рішення в нормальному та аварійних режимах (плавлення ожеледі, регулювання потужності, що передається, і т.д.).

Основними вимогами при побудові АСМ необхідно вважати такі:

- розробка та використання сучасних технічних засобів збору, передачі й обробки інформації;
- розробка багатфункціонального гнучкого програмного забезпечення, сумісного з існуючими програмними засобами;
- модульний вигляд системи, що дозволяє інтегрувати її в загальну автоматизовану систему керування технологічним процесом передачі електричної енергії.

В ожеледних районах АСМ повинна мати наступні специфічні функціональні можливості:

1. Короткостроковий і довгостроковий прогнози виникнення ожеледно-паморозевих відкладень (ОПВ) на ПЛ із визначенням імовірності виникнення, часу виникнення, і супутніх метеопараметрів.

2. Раннє виявлення утворення ожеледі, а також початку інтенсивного галоупування проводів, сигналізація, збір і первинна обробка поточних даних про ожеледно-вітрову ситуацію в режимі реального часу (температура й вологість повітря, напрямок і швидкість вітру, розпізнавання виду ОПВ, щільність відкладень, швидкість їх наростання, розміри й вага відкладень). Можливе доповнення інформаційної картини відео- і фотоданими.

3. Розрахунок прогнозних параметрів режиму плавлення ожеледі (визначення моментів вмикання й вимикання схеми, черговості плавлень, величини струму й часу плавлень на кожній із взаємозалежних ліній (ділянок ліній), кількості ліній (ділянок ліній) з одночасним плавленням відкладень, кількості циклів плавлень з наступним коригуванням за поточними даними.

4. Розрахунок механічних параметрів лінії у режимі реального часу (тяжіння, механічного напруження в проводах, габаритів).

5. Архівування даних про ожеледно-вітрову ситуацію та параметри ПЛ з метою подальшого аналізу й накопичення досвіду.

Таким чином, програмне забезпечення АСМ в ожеледних районах повинне включати технологічні й прикладні програми.

Технологічні програми забезпечують функціонування апаратної частини системи.

До прикладних програм відносяться:

- програма обробки і представлення прогнозних і поточних даних про ожеледно-вітрову ситуацію та параметри ПЛ;
- програма розрахунку параметрів режиму плавлення ожеледі з коригуванням у режимі реального часу;
- програма архівування даних.

Очевидно, що при розробці систем контролю утворення ожеледі необхідно прагнути до максимально можливого рівня автоматизації процесів моніторингу ПЛ та плавлення ожеледних відкладень, що дозволить мінімізувати роль людського фактору та підвищити загальну ефективність роботи таких систем.

Особливої уваги потребує реалізація функції системи контролю утворення ожеледі, яка полягає у прогнозуванні параметрів процесу утворення ожеледі на ПЛ. Для вирішення задач подібного типу добре зарекомендували себе методи, що відносяться до обчислювального інтелекту та базуються на основі штучних нейронних мереж [4]. Головним параметром, який підлягає прогнозуванню, є вага проводу, вкритого ожеледдю. Задача прогнозування полягає в створенні на основі архівних даних спостережень математичної моделі вигляду

$$M(k+h) = F(M(k), \dots, M(k-d), M_{\max}(k), \dots, M_{\max}(k-d), T(k), \dots, T(k-d), H(k), \dots, H(k-d)), \quad (1)$$

де k – номер поточної години; h – інтервал прогнозування, прийнятий рівним 2 годинам; d – порядок моделі, що відповідає глибині використання архівних даних; $M(k)$, $M_{\max}(k)$ – відповідно середня та максимальна вага проводу для години k ; $T(k)$, $H(k)$ – відповідно температура та відносна вологість повітря, які впливають на процес утворення ожеледі, для години k ; $F(\bullet)$ – перетворення, яке повинно бути знайдене.

Дана задача може бути вирішена з використанням нейронної мережі на основі гібридних нейроподібних елементів (рис. 1).

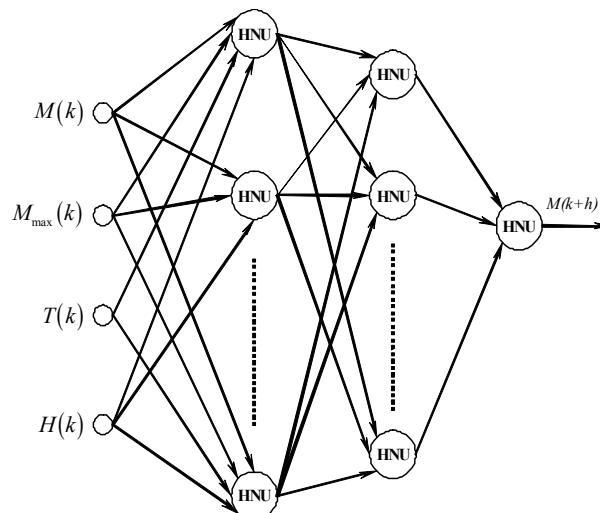


Рисунок 1 – Архітектура мережі на основі гібридних нейроподібних елементів (HNU)

Вхідними сигналами мережі є поточні значення прогнозованої змінної $M(k)$ та інших величин $M_{\max}(k)$, $T(k)$, $H(k)$, які контролюються датчиками та передаються каналом зв'язку на диспетчерський пункт. Подавати на вхід попередні вимірювання немає необхідності, оскільки вони формуються автоматично всередині гібридних нейроподібних елементів HNU. Структура гібридного нейроподібного елемента наведена на рис.2.

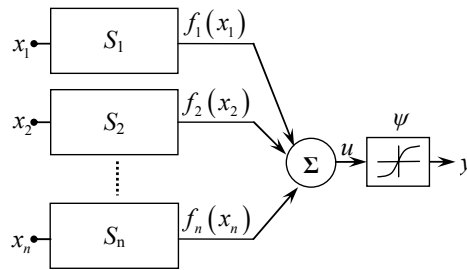


Рисунок 2 – Гібридний нейроподібний елемент

Вхідні сигнали $x_i (i=1, \dots, n)$ перетворюються з допомогою синапсів різних типів s_i в сигнали $f_i(x_i)$, які потім об'єднуються в сигнал внутрішньої активації $u = \sum_{i=1}^n f_i(x_i)$. Вихідний сигнал нейроподібного елемента формується з допомогою нелінійної активуючої функції

$$y = \psi(u) = \psi\left(\sum_{i=1}^n f_i(x_i)\right), \quad (2)$$

де в якості $\psi(u)$ використовується сигмовидна функція або гіперболічний тангенс.

Налаштування архітектури мережі здійснено еволюційним методом, який характеризується можливістю компромісного вибору між локальними та глобальними пріоритетами в процесі еволюційного пошуку. Навчання мережі проводилось з використанням методу Левенберга-Маркварда. Перевірка адекватності моделі проводилась на основі метеоданих, що були отримані системою контролю за утворенням ожеледі, яка використовується на ПЛ 35 кВ «ПС Підгорна – ПС Орджонікідзе» ПАТ «Крименерго» [5]. Всього було зафіксовано 21 випадок виникнення ожеледі на ПЛ. З них дані 14 випадків виникнення ожеледі було використано для навчання моделі, а інші 7 випадків – для перевірки моделі. В результаті експериментів було встановлено, що середня похибка прогнозування не перевищує 2 %.

Висновки. Встановлено, що в ожеледних районах загальна автоматизована система керування технологічним процесом передачі електричної енергії повинна доповнюватись підсистемою контролю утворення ожеледі на ПЛ, до функціональних можливостей якої входять моніторинг та прогнозування процесу наростання ожеледних відкладень, розрахунок параметрів режиму плавлення ожеледі на ПЛ та керування цим режимом, розрахунок механічних параметрів ліній. Реалізацію функції прогнозування доцільно здійснити на основі нейронної мережі з використанням гібридних нейроподібних елементів, що дозволяє отримати досить низькі похибки короткострокового прогнозу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Башкевич В. Я. Мониторинг гололедно-ветровых и температурных нагрузок воздушных линий электропередачи / В. Я. Башкевич, Г. Г. Угаров // Материалы международной НТК «Электроэнергия и будущее цивилизации». – Томск.- ТГУ.- 2004.
2. Титов Н.Н. Формирование ведомственной системы сбора метеоданных в условиях эффективного оптового рынка электроэнергии / Н.Н. Титов, М.С. Доценко, С.И. Доценко, Н.М. Черемисин, П.Д. Лежнюк // Праці Інституту електродинаміки НАН України. Спеціальний випуск. Енергетичні ринки: перехід до нової моделі ринку двосторонніх контрактів і балансуєчого ринку. – Київ.- 2009. – С.41-48.
3. Левченко И.И. Программное обеспечение системы обнаружения и плавки гололеда на ВЛ 10-500 кВ / И.И. Левченко, Е.И. Сацук // Известия вузов. Электромеханика. – 2002. – № 6.
4. Попов С.В. Специализированные архитектуры искусственных нейронных сетей на базе гибридных нейроподобных элементов // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – 2009. – №33.- Т. 2. – С. 76-82.
5. Груба Г.И. Мониторинг параметров гололедной ситуации в электрических сетях ПАО «Крымэнерго» / Г.И. Груба, О.В. Пархоменко, В.В. Булага, В.И. Хоменко, А.В. Гриценко, Н.М. Черемисин, А.А. Савченко // Электрические сети и системы. – 2012. – №1. – С.34-38.

REFERENCES

1. Bashkevich V.Y., Ugarov G.G. Monitoring of the ice-storm-wind and temperature loading of aerial power lines. *Mizhnarodna Konferentsiya "Electroenergiya i buduschee civilizacii" (Electric power and future of civilization)*. Tomsk: TGU. 2004; 15-20.
2. Titov N.N., Dotsenko M.S., Dotsenko S.I., Cheremisin N.M., Legnyuk P.D. Forming of the department system of collection of meteorological data in the conditions of efficient wholesale market of electric power. *Pratsi Institutu elektrodunamiku NAN Ukrainu. Specialnyi vipusk. Energetichni rinku: perehid do novoi modeli rinku dvostoronnih kontraktiv i balansuychogo rinku*. 2009; p. 41-48.

3. Levchenko I.I., Satsuk E.I. System of discovery and melting of ice-storm software for aerial power lines 10-500 kV. *Izvestia vuzov. Elektromehhanika*. 2002; 6: p. 34-38.

4. Popov S.V. Specialized architectures of artificial neural networks on the base of hybrid neuron elements. *Zbirnik naukovih prats Natsionalnogo girnichogo universitetu*. 2009; 33, vol. 2: 76-82.

5. Gruba G.I., Parhomenko O.V., Bulaga V.V., Homenko V.I., Gritsenko A.V., Cheremisin N.M., Savchenko O.A. Monitoring of parameters of ice-storm situation in the electric networks of PJSC "Krimenergo". *Elektricheskie seti i sistemu*. 2012; 1: 34-48.

Надійшла до редакції 04.03.2013

Рецензент: М.В. Гребченко

Н.М. ЧЕРЕМИСИН¹, С.В. ПОПОВ², А.А. САВЧЕНКО¹, К.А. ШКУРО², О.В. ПАРХОМЕНКО³

¹ Харьковський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенко

² Харьковський національний університет радіоелектроніки

³ Феодосійський високовольтний район електричних мереж ПАО «Крымэнерго»

Эффективность мониторинга воздушных линий электропередачи в гололедных районах. Предложены общие принципы построения автоматизированных систем мониторинга воздушных линий электропередачи в гололедных районах, что позволяет производить выбор аппаратной и программной частей таких систем. Обоснован подход относительно прогнозирования параметров процесса образования гололеда на основе нейронных сетей.

Ключевые слова: воздушная линия электропередачи, автоматизированная система мониторинга, система контроля образования гололеда, режим плавки гололеда, гибридный нейроподобный элемент.

N. CHEREMISIN¹, S. POPOV², O. SAVCHENKO¹, K. SHKURO², O. PARHOMENKO³

¹ Kharkiv Petro Vasylenko national technical university of agriculture

² Kharkiv national university of radio electronics

³ Feodosiya high-voltage district of electric networks of PJSC "Krimenergo"

Efficiency of monitoring of overhead power lines in ice-storm regions. Basic monitoring functions of CAS of glazed load process on overhead power lines are short-and long-term forecasts of glazed sedimentations on overhead power lines with determination of probability of occurrence, time of occurrence, and associated meteorological parameters; early detection of glazed formation and intensive gallop of wires, signalling, collection and roughing-out of current data about a situation real-time (temperature and humidity, direction and speed of wind, sizes and weight of sedimentations); calculation of forecasting parameters of a mode of glazed melting (defining moments of turn on-off scheme, the order of melting, the current value and time of glazed melting for each interdependent lines (line sections), the number of lines (line sections) with simultaneous melting sediments, the number of melting cycles and then adjusting for the current data; calculation of mechanical parameters of the line in real time (gravity, mechanical tension in wires, dimensions); archiving data about glaze-wind situation and line options for further analysis and storage experience. For glaze load forecasting, methods that are based on the use of computational intelligence were applied. The main forecasting parameter is weight of power line glazing. A neural network of hybrid neuron-like units was applied for solving the task. The input signals of network are current value of the forecasted signal and other variables that are controlled by sensors and passed by a communication channel on controller's point. The network architecture (structural) optimization was performed by an evolutionary algorithm that is characterized by possibility of compromise choice between local and global priorities in the evolutionary search. A second-order algorithm of Levenberg-Marquardt was applied for the network weights (parametric) optimization. Checking the adequacy of the model was based on meteorological data that were obtained by the CAS, which is used on power line 35 kV in the Crimea, Ukraine. In total there were 21 cases of power line glazing. Of these 14 cases of power line glazing were used for training the model, and the remaining 7 cases – for testing model. As a result of experiments, it was found that the average prediction error is less than 2%.

Key words: overhead power lines, CAS of monitoring, control system of glazed-storm formation, mode of melting of glazed -storm formation, hybrid neuron-like units.