

АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗУВАННЯ ОЖЕЛЕДНО-ПАМОРОЗЕВИХ ВІДКЛАДЕНЬ НА ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЯХ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ

Дюбко С. В.

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

Проведений аналіз існуючих методів та моделей прогнозування ожеледно-паморозевих відкладень на повітряних лініях електропередавання.

Постановка проблеми. Метеоумови чинять значний вплив на експлуатацію ліній електропередавання (ЛЕП), цілісність інфраструктури і характеристики електромереж. Погодні явища, які можуть привести до пошкодження ЛЕП, включають екстремальні вітри, блискавки та ожеледно-паморозеві відкладення (ОПВ) на проводах і опорах ЛЕП. Дослідження, проведене SIGRE, показало, що ожеледь, вітер та поєднання цих явищ є причиною 87 % від загального світового збитку, викликаного пошкодженнями ЛЕП.

Ефективність боротьби з ОПВ на проводах ЛЕП залежить від швидкості прийняття рішень чергового персоналу у відповідальних ситуаціях. Головною проблемою таких аварій є відсутність завчасної інформації про стан погоди в районі, де проходить ЛЕП.

Основним джерелом метеорологічної інформації про несприятливі для енергетики погодні умови є дані спостережень гідрометеорологічного центру, що в повній мірі не вирішує проблему інформаційного забезпечення.

Для передбачення погодних умов метеорологи в своїй практиці використовують синоптичні, чисельні, та статистичні методи. Застосування даних методів для прогнозування ОПВ на ЛЕП є обмеженим через неможливість врахування специфіки процесів, що протікають при утворенні ОПВ на проводах повітряних ліній. Тому в більшості випадків електротехнічний персонал отримує інформацію про початок утворення ожеледі на ЛЕП із затримкою, і, як правило, в нечіткій формі.

Для підвищення ефективності при прийнятті рішень при ожеледеутворенні доцільно використовувати комплексні інформаційні системи моніторингу метеопараметрів та режимів роботи з використанням спеціалізованих прогнозних моделей, що відповідає концепції "розумних мереж" (Smart Grid).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Однією з основних функціональних властивостей, що є базовою для модернізації і подальшого розвитку енергосистем з метою підвищення ефективності управління режимами їх роботи на основі платформи Smart Grid є контроль поточних метеопараметрів та параметрів ЛЕП з функцією їх прогнозування, який, в свою чергу, базується на різних методах та моделях прогнозу [1, 2]. Впровадження таких методів та моделей в інформаційну систему контролю утворення ожеледі загалом підвищить "інтелект" електричних мереж.

Мета статті. Дослідження існуючих методів та моделей прогнозування ожеледно-паморозевих відкладень на повітряних лініях електропередавання.

Основні матеріали дослідження. Існує велика кількість методів та моделей передбачення розвитку ожеледної ситуації, але на даний час вони не забезпечують необхідної точності прогнозу.

Всі методи прогнозу діляться на інтуїтивні та формалізовані. Інтуїтивні методи базуються на людських судженнях та оцінках експертів і використовуються в тих випадках, коли процес, який потрібно спрогнозувати, або надто складний і не піддається математичному описанню, або надто простий і не вимагає такого описання. Формалізовані методи оперують математичними моделями. При побудові математичних моделей встановлюється математична залежність, яка дозволяє визначити майбутній стан системи, тобто зробити прогноз.

Процес утворення ожеледі на проводах ЛЕП залежить від великої кількості параметрів, тому використання математичних моделей на основі лінійних диференціальних рівнянь пов'язане із значними труднощами при технічній реалізації засобів прогнозування.

В роботі [3] запропонована математична модель для прогнозування на основі лінійної ковзної регресії, що дозволяє визначити момент виникнення ОПВ. Лінійна регресійна модель не завжди придатна для якісного передбачення залежної змінної. Наприклад, якщо вихідна змінна є категоріальною або бінарною, доводиться використовувати різні модифікації регресії. Також регресійні моделі мають невисоку точність прогнозу, для них характерна відсутність пояснюючої функції, тобто неможливість пояснення причинно-наслідкового зв'язку.

В роботі [4] між швидкістю наростання, масою і тривалістю утворення ожеледі отримані прості і множинні кореляційні рівняння, які показані в табл. 1. Недоліки кореляційного аналізу пов'язані з тим, що він дозволяє лише констатувати наявність якогось зв'язку між тими чи іншими параметрами, але не може довести, що цей зв'язок є причинно-наслідковою залежністю.

В роботі [5] запропоновано використання інтелектуальної системи для прогнозування процесу утворення ожеледі.

Розроблений модуль визначення типу ожеледі на базі нечіткої логіки. В якості алгоритму нечіткого логічного виводу вибраний алгоритм Мамдані. Функціональна схема нечіткого модуля наведена на рис. 1.

Проте застосування таких систем має ряд недоліків, серед яких можна виділити відсутність стандартної методики проектування і розрахунку нечітких систем, неможливість математичного аналізу нечітких

Таблиця 1 – Множинні кореляційні рівняння між швидкістю наростання (V), масою (P) і тривалістю утворення (T) ожеледі

Вид відкладення	Кореляційне рівняння
Ожеледь	$V = 0,480 + 0,89P - 0,96T$
Складне відкладення	$V = 0,89 + 0,50P - 0,41T$
Мокрий сніг	$V = 0,31 - 0,29P - 0,20T$
Зерниста паморозь	$V = 1,03 + 0,22P + 0,54T$
Кристалічна паморозь	$V = 0,22 - 0,90P + 0,90T$

систем існуючими методами, низька точність прогнозу. Збільшення кількості вхідних змінних в таких моделях приводить до експоненціального підвищення складності обчислень.

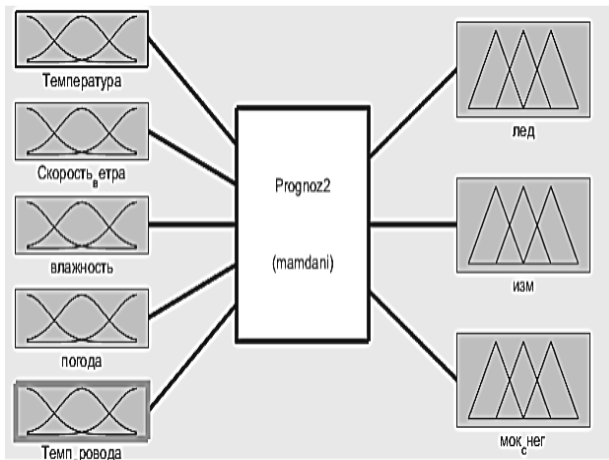


Рисунок 1 – Функціональна схема нечіткого модуля

На сьогоднішній день для різного роду задач прогнозування добре зарекомендували себе моделі, які базуються на нейронних мережах. Штучні нейронні мережі здатні реалізувати функції передбачення і класифікації. В їх основі лежить нейронна організація штучних систем, яка має біологічні передумови [6].

У порівнянні з лінійними методами статистики (лінійна регресія, авторегресія, лінійний дискримінант), нейромережі дозволяють ефективно будувати нелінійні залежності.

Використовуючи здатність навчання на безлічі прикладів, нейронна мережа здатна вирішувати задачі, в яких є невідомими закономірності розвитку ситуації і залежності між вхідними та вихідними даними. Традиційні математичні методи та експертні системи в таких випадках дають значно гірші результати.

Нейронні мережі мають здатність адаптуватися до змін навколишнього середовища. Зокрема, нейронні мережі, навчені діяти в певному середовищі, можуть бути легко перенавченими для роботи в умовах незначних коливань параметрів середовища.

Всі ці фактори є важливими при побудові системи прогнозу ОПВ на ЛЕП, так як тут доводиться мати справу з різного роду невизначеністю (помилкові або втрачені показники датчиків, непрямий облік параметрів, що не піддаються прямим вимірюванням, тощо),

нестационарністю (зміна в часі властивостей модельованих процесів) та нелінійністю [7].

Нейронна мережа для задачі прогнозування маси проволу, вкритого ожеледдю, показана на рис. 2. Вхідними сигналами мережі є поточні значення прогнозованої змінної $M(k)$ та інших величин $M_{\max}(k)$, $T(k)$, $H(k)$, які контролюються датчиками автоматизованої системи контролю утворення ожеледі та передаються каналом зв'язку на диспетчерський пункт [7].

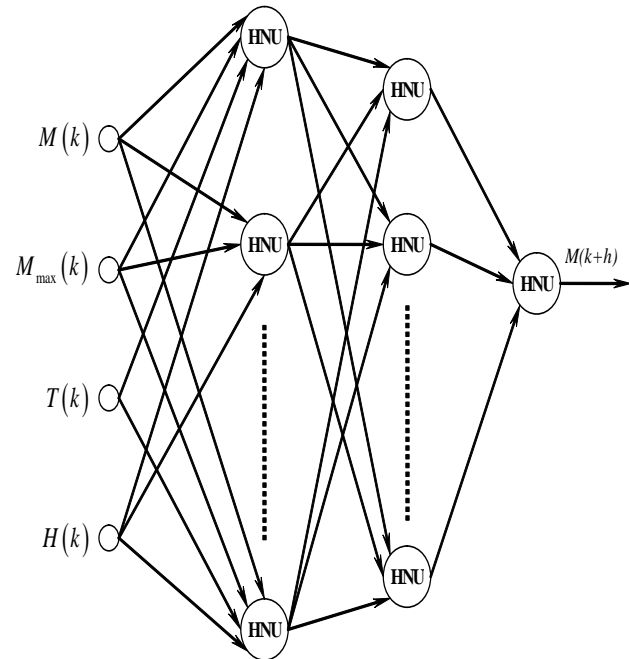


Рисунок 2 – Структурна схема нейронної мережі

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;

d – порядок моделі, що відповідає глибині використання архівних даних;

$M(k)$, $M_{\max}(k)$ – відповідно середня та максимальна вага проволу 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.

Спроможність до навчання та перенавчання нейронної мережі відіграє важливу роль у прогнозуванні ОПВ, оскільки з часом збільшується архів параметрів, які контролюються автоматизованою системою моніторингу утворення ожеледі. В подальшому ці дані можна використовувати для перенавчання нейронної мережі, що в свою чергу підвищує точність прогнозування.

Висновок. В результаті дослідження існуючих методів та моделей прогнозування ожеледно-паморозових відкладень на повітряних лініях електропередавання встановлено, що одним з найбільш доцільних підходів є використання нейромережевого моделювання. Моделі на основі нейронних мереж мають ряд переваг, а саме: здатність до навчання та перенавчання, можливість побудови нелінійних залежностей, адаптація до змін навколишнього середовища.

Моделювання здійснюється на основі даних моніторингу заданих параметрів, який забезпечує автоматизована система контролю утворення ожеледі. Тому організація моніторингу параметрів поточного стану ПЛ з урахуванням метеоданих в режимі реального часу є важливим фактором в ефективності автоматизації і управління режимами роботи енергосистем на базі платформи Smart Grid.

Впровадження системи прогнозування ОПВ в автоматизовану систему контролю утворення ожеледі загалом може підвищити інтелект електричних мереж, що в свою чергу підвищує ефективність та надійність електропостачання споживачів.

Список використаних джерел

1. Черненко П. О. Порівняльний аналіз двох підходів до вирішення задачі короткострокового прогнозування сумарного електричного навантаження електроенергетичної системи / П. О. Черненко, О. В. Мартинюк, С. В. Попов, Є. В. Бодяньський // Технічна електродинаміка. – К.: Інститут електродинаміки НАН України, 2013. – №3. – С. 61-72.

2. Титов Н. Н. 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.

3. Козловський О. А. Математична модель прогнозування ожеледоутворення на провадах повітряних ліній / О. А. Козловський, А. Ю. Орлович // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація, Кіровоград: КНТУ, 2016. – Вип. 29. – С. 213-221.

4. Инструкция по определению нормативных толщин стенок гололеда и скоростей ветра при гололеде для разработки заключений при проектировании сельских воздушных линий 0,4 - 20 кВ. – К.: Сельэнергопроект, 1976.

5. Костин К. Е. Разработка интеллектуального модуля прогнозирования образования гололеда / К. Е. Костин, С. И. Сухоруков, В. А. Соловьев, С. П. Черный, Д. О. Савельев // Ученые записки КнАГТУ. – 2015. – № 3.

6. Кононюк А. Ю. Нейроні мережі і генетичні алгоритми / А. Ю. Кононюк. - К.: "Корнійчук", 2008. – 446 с. - ISBN 978-966-7599-50.

7. 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.

8. 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.

9. Haykin S. Neural Networks. A Comprehensive Foundation / S. Haykin. – Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999. – 842 p.

10. Черемісін М. М. Обґрунтування параметрів схем плавлення ожеледі на ПЛ 6–10 кВ розподільних електричних мереж на основі нечіткого моделювання / М. М. Черемісін, І. П. Білаш, О. А. Савченко // Енергетика та електрифікація. – 2010. – № 9. – С. 33–37.

Аннотация

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Дюбко С. В.

Проведен анализ существующих методов и моделей прогнозирования гололедно-изморозевых отложений на воздушных линиях электропередачи.

Abstract

ANALYSIS AND EVALUATION OF METHODS AND MODELS OF FORECASTING DEPOSITS OF ICE ON AIR TRANSMISSION LINES

S. Diubko

The analysis of existing methods and models of forecasting of ice deposits on overhead transmission lines is carried out.