

УДК 621.3.048.1

Василевський В.В.¹, Скрупська Л.С.², Капцієнко О.О.², Шило С.І.², Голубцова В.Р.³

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

³ студ. гр. Е-414а НУ «Запорізька політехніка»

ОСОБЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В СИСТЕМИ НЕПЕРЕРВНОГО КОНТРОЛЮ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ

Системи неперервного контролю силових трансформаторів забезпечують безперервний збір експлуатаційних даних з первинних датчиків, що дозволяє формувати значні обсяги інформації про стан трансформаторного обладнання. Накопичення таких даних створює основу для впровадження інтелектуальних підходів до їх обробки й аналізу. Штучний інтелект (ШІ) виступає ефективним інструментом для виявлення аномалій, трендів, прогнозування відмов і підтримки прийняття рішень у реальному часі. Застосування ШІ дозволяє не лише підвищити точність діагностики, а й забезпечити перехід до обслуговування трансформаторного обладнання за станом, оптимізації роботи трансформаторів і зменшення ризику аварій під час експлуатації.

Штучний інтелект як інструмент інтелектуального аналізу даних.

Силові трансформатори оснащуються численними сенсорами, які забезпечують безперервний моніторинг параметрів їх роботи: температури

обмоток, рівня масла, часткових розрядів, вібрацій, напруги та струму. Проте зростання обсягів даних призводить до ускладнення їх інтерпретації традиційними методами. Засоби ШІ, зокрема алгоритми машинного навчання (ML), дають змогу ефективно обробляти ці дані, здійснювати їх фільтрацію, попередню обробку, виявлення аномалій і трендів, що є передумовою для побудови систем раннього попередження про несправності.

Використання нейронних мереж для прогнозування технічного стану.

Глибинні нейронні мережі (Deep Neural Networks, DNN), рекурентні мережі (LSTM) та згорткові мережі (CNN) застосовуються для прогнозування технічного стану трансформатора на основі аналізу часових рядів та сигналів із датчиків. Такі моделі можуть «навчатися» на даних про експлуатацію трансформатора протягом певного часу та створювати предиктивні моделі, які з високою точністю передбачають розвиток деградаційних процесів в ізоляції, появу часткових розрядів або зниження ефективності охолодження. Це дає змогу обґрунтовано планувати технічне обслуговування.

Роль ШІ у прийнятті рішень у режимі реального часу.

Однією з ключових переваг впровадження ШІ є здатність приймати інтелектуальні рішення в режимі реального часу. Інтеграція ШІ з системами керування трансформатором дозволяє автоматично реагувати на критичні відхилення параметрів – зокрема, ініціювати аварійне відключення, перевести трансформатор у режим пониженої потужності або запустити процедуру глибокої діагностики. Це особливо актуально для цифрових підстанцій нового покоління.

Підвищення ефективності обслуговування через предиктивну аналітику.

Замість традиційного планово-профілактичного обслуговування, яке не враховує реальний технічний стан трансформатора, застосування ШІ забезпечує можливість впровадження систем предиктивного обслуговування (predictive maintenance). ШІ аналізує поточні та історичні дані, виявляє закономірності, що передують несправностям, та видає рекомендації щодо доцільності обслуговування або заміни конкретного вузла. Це знижує експлуатаційні витрати та підвищує коефіцієнт технічної готовності.

Використання кластерного аналізу та класифікації.

Методи кластеризації (наприклад, алгоритми K-means, DBSCAN, агломеративна кластеризація) можуть бути застосовані для групування трансформаторів за схожими технічними характеристиками або рівнем ризику. Окрім цього, класифікаційні моделі (SVM, дерева рішень, Random Forest) здатні на основі вхідних параметрів визначити ймовірність належності трансформатора до тієї чи іншої категорії технічного стану: «нормальний», «ризикований», «аварійний».

Перспективи цифрових двійників.

Цифровий двійник (Digital Twin) трансформатора — це віртуальна модель, яка відображає реальний стан фізичного об'єкта на основі даних з

сенсорів у режимі реального часу. ШІ забезпечує інтелектуальну поведінку цифрового двійника: аналізує поточні умови, прогнозує розвиток подій та моделює різні сценарії експлуатації, що є надзвичайно корисним для тестування рішень без ризику для реального обладнання. Це відкриває шлях до глибокої інтеграції трансформаторів у систему Smart Grid.

Системи навчання з підкріпленням для оптимізації роботи мережі.

Навчання з підкріпленням (Reinforcement Learning, RL) дозволяє будувати адаптивні політики керування, які змінюються залежно від поточних умов. У випадку трансформаторів це може бути, наприклад, вибір оптимального режиму роботи з урахуванням погодних умов, навантаження, резервних потужностей і навіть прогнозу попиту. Алгоритми RL здатні оптимізувати роботу енергосистеми в динамічну середовищі з великою кількістю невизначеностей.

Таким чином, можна зробити висновок що інструменти ШІ дозволяють глибоко аналізувати великі масиви даних, прогнозувати розвиток несправностей, приймати обґрунтовані рішення в режимі реального часу та впроваджувати обслуговування трансформаторного обладнання за станом.