

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертацію **Шиманюка Павла Вячеславовича**

«Короткострокове прогнозування вузлових електричних навантажень в розподільних мережах», поданої на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

На сьогоднішній день системи керування розподілом електроенергії потребують продовження теоретичних та практичних досліджень, оскільки внаслідок недостатньої ефективності цих систем витрати на транспорт енергії суттєво перевищують економічно обґрунтовані. Особливої уваги заслуговує проблема підтримки прийняття рішень, бо об'єкт керування за структурою є не тільки неоднорідним, але і розподіленим. Суттєвим ускладнюючим фактором процесу прийняття рішень є невизначеність інформації, яка обумовлена відсутністю повної сукупності оперативних даних про об'єкт керування. Тому розробка та удосконалення методів прогнозування електричного навантаження в сучасних електричних мережах і створення на їх основі нових засобів підтримки прийняття рішень в системі керування енергосистемою є актуальною теоретичною та практичною задачею. Ці системи зараз будуються за технологіями «розумних мереж» (Smart Grid), які і направлені перш за все на регулювання процесів виробництва, розподілу і споживання електричної енергії. Вони реалізують важливі аспекти сучасних технологій штучного інтелекту, зокрема методи штучних нейронних мереж у системах керування.

Основними задачами, які автор вирішує в своїй роботі є розробка архітектури штучної нейронної мережі для прогнозування вузлового електричного навантаження з врахування зовнішніх факторів, зокрема температури повітря, а також розвиток методу аналізу даних для виявлення та заміни аномальних даних на основі методу кластеризації DBSCAN з метою підвищення точності результатів прогнозування. Обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій забезпечується коректними постановками завдань, використанням сучасного апробованого математичного апарату та адекватних математичних моделей. Методи, які використовує автор є коректними, а їх застосування в конкретних умовах даної роботи – обґрунтованими і відповідає складності поставлених задач.

Основні отримані автором результати, які мають суттєву наукову новизну:

- вперше розроблено метод багатofакторного короткострокового прогнозування вузлового електричного навантаження з використанням штучної нейронної мережі з модулем довго-короткострокової пам'яті (LSTM – Long-short term memory) та обхідним з'єднанням і паралельною гілкою прихованих шарів для обробки та врахування впливу зовнішніх факторів, що дозволило

зменшити похибку прогнозування вузлового навантаження у порівнянні з іншими методами прогнозування;

- розроблено новий метод аналізу даних для виявлення та заміни аномальних значень та пропусків значень вузлового електричного навантаження за рахунок виконання двоетапного аналізу з використанням методу кластеризації даних (DBSCAN – Density-based spatial clustering of applications with noise) та декомпозиції часових рядів, а також заміни аномальних значень за допомогою лінійної інтерполяції, що дозволило зменшити кількість виявлення хибних значень та в подальшому підвищити точність короткострокового прогнозування вузлових навантажень.

Робота має чотири розділи в яких послідовно викладено хід виконання досліджень щодо аналізу та розвитку методів прогнозування; особливостей функціонування нового ринку електричної енергії в Україні; розробки моделей короткострокового прогнозування на основі штучних нейронних мереж глибинного навчання; дослідження та розробки методу аналізу даних для виявлення та заміни аномальних значень в даних вузлового навантаження для підвищення точності результатів прогнозування; розробки багатofакторних моделей короткострокового прогнозування з врахуванням температури повітря. В роботі наведені приклади практичного використання результатів прогнозів для визначення втрат електричної енергії в мережах та розроблення тестової мережі для визначення очікуваних значень втрат.

Результати дисертації були використані в науково-дослідних роботах відділу моделювання електроенергетичних об'єктів та систем Інституту електродинаміки НАН України відповідно до державних галузевих програм науково-технічних досліджень. Практичне значення результатів роботи Шиманюка П.В. позитивно оцінені ТОВ «ДТЕК Мережі», а також впроваджені в навчальний процес Інституту енергозбереження та енергоменеджменту НТУ України «КПІ ім. І. Сікорського» у вигляді практичних робіт. Здобувачем отримано авторське свідоцтво на комп'ютерну програму «Модель розрахунку цін та тарифів на електричну енергію» 115250 від 13.10.22.

Основний зміст дисертаційної роботи Шиманюка П.В. повно представлено в 13 наукових публікаціях, з яких 6 публікацій в наукових фахових виданнях, що індексуються наукометричною базою SCOPUS. Про високу якість отриманих результатів дослідження свідчить і апробація дисертаційної роботи на всеукраїнських та міжнародних конференціях, а також на наукових семінарах відділу моделювання електроенергетичних об'єктів та систем, і літній школі ІЕД НАН України.

Всі наукові результати, що виносяться на захист отримані здобувачем особисто або за безпосередньою участю автора.

По змісту та оформленню дисертаційної роботи можна зробити наступні зауваження:

1. В електроенергетиці за традицією до розподільних відносять електричні мережі певного рівня ієрархії, які мають відповідні номінальні напруги та

експлуатаційні схеми. В той же час автор цей термін трактує більш широко, маючи на увазі перш за все функцію розподілу енергії, тому в нього і магістральна мережа Китаю номінальною напругою 500 кВ вважається розподільною (с. 40). Для запобігання непорозумінням, можливо в роботі взагалі варто було уникати терміну розподільна електрична мережа.

2. З тексту дисертаційної роботи не зрозуміло чому автор при дослідженнях спирався на данні отримані із закордонних електричних мереж і, відповідно, наскільки отримані результати відповідають електричним мережам України?

3. Потребує додаткового пояснення той факт, що в розділі 1.3.6 наведені результати оперативного прогнозування вузлового навантаження, хоча сама дисертаційна робота присвячена короткостроковому прогнозуванню вузлових електричних навантажень.

4. На сторінці 37 автор пише, що «використання методу ШНМ показало кращі або рівні результати». Але ж порівнювалися між собою два методи ШНМ, тому такий висновок є трохи дивним.

5. В тексті роботи є надлишкова інформація, наприклад на рис 2.6 наведено вигляд вікна завантаження файлу з операційної системи WINDOWS. Це звична стандартна дія, яка не впливає на процес моделювання за допомогою ШНМ.

6. Не зрозуміло, чому в розділі 4 мова іде про оцінку втрат електричної енергії, а не прогнозування їх значень, що відповідало б змісту всіх інших розділів роботи.

7. В тексті роботи наявні описки та окремі помилки, в деяких реченнях не вистачає синтаксичних знаків, а в деяких вони є зайвими, деякі формули не мають пояснення позначень, зокрема символів чи числових коефіцієнтів в розділі 2.2.

Зазначені зауваження не мають принципового характеру, не ставлять під сумнів наукову новизну або достовірність одержаних в дисертації результатів і не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

Представлена дисертаційна робота «Короткострокове прогнозування вузлових електричних навантажень в розподільних мережах», є завершеною кваліфікованою науковою працею, виконана особисто здобувачем, має загальну єдність змісту та встановлену вимогами структуру: анотацію, вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел, додатки, містить наукові Дисертаційна робота є цілісною, за актуальністю обраної теми, обсягом та рівнем виконаних досліджень, повнотою вирішення наукових та практичних задач, новизною і ступенем обґрунтованості отриманих результатів та практичних висновків, а також за змістом поданого в ній матеріалу робота викладена лаконічно і коректно з використанням сучасної наукової термінології.

Дисертаційна робота є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів плагіату та запозичень, а використані ідеї, результати та матеріали інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Вважаю, що дисертація Шиманюка П.В. відповідає науковій спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» та вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії ...», затвердженого Кабінетом Міністрів України №44 від 12 січня 2022 р., а її автор Шиманюк Павло Вячеславович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії.

Рецензент

завідувач відділу оптимізації систем електропостачання

Інституту електродинаміки НАН України,

доктор технічних наук, ст. наук. співр.

28.04.2023

Юрій ТУГАЙ

