

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Шиманюка Павла Вячеславовича

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

Актуальність теми дисертації.

Для планування режимів роботи електричних мереж операторів системи розподілу (ОСР) необхідним є прогнозування значення вузлового навантаження. З впровадженням балансуєчого ринку електроенергії зросла необхідність короткострокового прогнозу електричного навантаження та втрат електричної енергії. При незадовільних результатах прогнозування, виникає значний небаланс енергії, який має бути усунуто на балансуєчому ринку електроенергії по завищеним цінам, що відповідно збільшує витрати ОСР. Нерозривність процесів генерування і споживання та значна обмеженість засобів для накопичення електроенергії в енергосистемах України робить особливо актуальною задачу підвищення точності короткострокових прогнозів, оскільки завищена оцінка навантаження призведе до додаткових фінансових витрат, неефективного розподілу первинних енергоносіїв та зменшення ресурсу енергоагрегатів, а його недооцінка може бути пов'язана зі значними збитками через зниження надійності електропостачання та необхідність використання дорогих маневрових електростанцій, потужності яких на сьогодні не вистачає.

Застосування методів прогнозування на основі штучних нейронних мереж (ШНМ) є одним із найпоширеніших сучасних методів прогнозування, завдяки своїй високій точності та ефективності. Це стало можливим завдяки розвитку обчислювальних засобів. Однак наявність пропусків та аномально великих значень у ряді даних, на якому проводиться оцінка параметрів моделі, призводить до недостатнього узагальнення характеру процесу та виникнення систематичних похибок. Тому розроблення моделей короткострокового прогнозування навантаження вузлів в розподільних електричних мережах із застосуванням штучних нейронних мереж та методів аналізу даних для виявлення та заміни аномальних значень навантаження вузлів з метою підвищення точності їх прогнозування, є **актуальним** науковим завданням, яке потребує вирішення.

Новизна представлених теоретичних та/або експериментальних результатів проведених здобувачем досліджень.

Результати отримані в процесі дисертаційного дослідження несуть таку наукову новизну:

1. Розроблено модель багатofакторного короткострокового прогнозування вузлового електричного навантаження на основі штучної нейронної мережі з модулем довго-короткострокової пам'яті, що дозволяє зменшити похибку прогнозів за рахунок використання паралельної гілки прихованих шарів для обробки та врахування впливу зовнішніх факторів.

2. Розроблено метод виявлення і заміни аномальних та пропущених значень в даних вузлового електричного навантаження за рахунок виконання двоетапного аналізу з використанням методу кластеризації даних DBSCAN та декомпозиції часових рядів, що дозволило в подальшому підвищити точність короткострокового прогнозування вузлових навантажень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами.

Тематика та розділи цієї дисертації входили до складу наукових робіт, які були виконані в Інституті електродинаміки НАН України. Результати досліджень здобувача отримані в процесі виконання наукових робіт: «Розробка методів та засобів короткострокового прогнозування вузлових електричних навантажень електроенергетичних систем в ринкових умовах», шифр: «Прогноз», 2019 – 2020рр. № ДР0119U002810; «Науково-технічні засади розвитку та керованості сегменту розосереджених джерел енергії в структурі генеруючих потужностей електроенергетичних систем», шифр «Сегмент», 2021 – 2022рр. №ДР 0117U007711; «Прогнозування сумарного небалансу електричної енергії в ОЕС України та його вплив на кінцеву вартість електричної енергії», шифр «Небаланс», 2021 – 2022рр. №ДР 0121U111848.

Наукова обґрунтованість представлених результатів здобувача.

Наукові положення та висновки, що містяться в дисертаційній роботі, є теоретично обґрунтованими і підтверджуються проведеним моделюванням під час виконання науково-дослідних робіт, апробацією на наукових міжнародних конференціях і наукових семінарах.

Представлена дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням. Зміст дисертації, структура, послідовність та повнота розв'язаних задач цілком відповідають темі роботи.

Представлена робота відповідає принципам академічної доброчесності, а саме: відтворення в тексті наукової роботи результатів дослідження інших науковців наведено з посиланнями, що не порушує Закон України «Про авторське право і суміжні права»; адекватність та точність наведеної інформації (без спотворення) із цитуванням з іноземних джерел.

Наукове значення та практична цінність.

Полягає в тому, що на підставі виконаних досліджень вирішено актуальну науково-технічну задачу короткострокового прогнозування погодинних значень вузлового електричного навантаження операторів систем розподілу з врахуванням додаткових факторів.

Отримані в дисертації результати можуть бути практично використані у процесі прийняття оперативних диспетчерських заявок, корегування поточних режимів та оптимізації майбутніх режимів, а також для подання заявок на купівлю та продаж електроенергії на різних сегментах ринку. Достовірність результатів підтверджується їх впровадженням у ТОВ «ДТЕК Мережі».

Крім цього матеріали дисертаційної роботи були впроваджені в навчальному процесі під час формування складових навчально-методичного забезпечення з дисциплін «Оптовий та роздрібний ринок електричної енергії» та «Системи ринків електричної енергії» для підготовки магістрів наукового та професійного спрямування за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Це підтверджено відповідними довідками про впровадження.

Оцінка публікацій здобувача.

Викладені в дисертаційній роботі результати дослідження отримали достатній рівень апробації. За результатами дисертаційного дослідження опубліковано 18 наукових праць, серед яких 6 статей у наукових фахових виданнях України та 4 статті у наукових виданнях, проіндексованих у Scopus. Апробацію матеріалів дисертації засвідчено у 7 публікаціях матеріалів конференцій, серед яких 2 доповіді на конференції з індексацією у Scopus. Отримано авторське свідоцтво на комп'ютерну програму.

Структура та зміст дисертації.

Структура дисертації побудована відповідно до мети та задач дослідження. Викладення основного матеріалу дисертації, наукових положень, результатів та висновків логічне та аргументоване. Дисертація написана в науковому стилі та оформлена відповідно до чинних умов.

Дисертаційна робота Шиманюка П. В. викладена на 154 сторінках, складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Обсяг основного тексту дисертації складає 135 сторінок друкованого тексту. Робота ілюстрована 25 таблицями та 46 рисунками. Список використаних джерел містить 103 найменування, із них 51 кирилицею та 52 латиницею.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дослідження, зазначено зв'язок з науковими програмами, сформульовані мета і завдання дослідження, об'єкт та предмет дослідження, викладені наукова новизна і практичне значення отриманих результатів, наведено особистий внесок здобувача, публікації та апробацію наукових результатів.

У **першому розділі** виконано огляд проблеми короткострокового прогнозування вузлового електричного навантаження в умовах ринку електроенергії. Проаналізовано основні сучасні моделі для прогнозування електричного навантаження, які використовуються у вітчизняних та зарубіжних роботах.

Виконані дослідження щодо ефективності використання класичних методів прогнозування, зокрема і методу експоненційного згладжування Холта-Вінтерса, результати прогнозування з використанням якого було порівняно з методами на основі ШНМ. При цьому важливою умовою під час прогнозування вузлових навантажень стало врахування зв'язків між вузлами. Показано, що застосування ШНМ глибинного навчання є найбільш ефективним методом прогнозування завдяки гнучкості та можливості моделювати багатомірні дані, що повинно суттєво підвищити ефективність прогнозів.

У **другому розділі** розроблено архітектуру штучної нейронної мережі глибокого навчання для короткострокового прогнозування вузлового навантаження. Показано, що на основі наведених результатів, запропонована архітектура штучної нейронної мережі глибокого навчання здатна робити точніші прогнози.

В роботі запропоновано використання ШНМ глибинного навчання в якості методу прогнозування вузлового електричного навантаження з можливістю врахуванням додаткових факторів, зокрема температури повітря. В якості архітектур ШНМ використовуються рекурентні нейронні мережі та згорткові ШНМ. Було розроблено декілька архітектур ШНМ для короткострокового прогнозування вузлового електричного навантаження мереж з можливістю обробки та врахування впливу зовнішніх факторів.

У **третьому розділі** виконано аналіз особливостей аномальних значень, які

зустрічаються в часових рядах вузлового електричного навантаження, та вдосконалено алгоритм їх виявлення та заміни.

Розроблено метод двоетапного аналізу даних для виявлення та заміни аномальних значень. Для цього запропоновано використовувати метод DBSCAN та декомпозицію графіків вузлового навантаження. Цей підхід дозволяє значно ефективніше виявляти аномальні значення та формувати коректніші набори ретроспективних даних.

У **четвертому розділі** запропоновано застосувати штучний інтелект для прогнозування втрат електричної енергії в розподільній мережі.

В роботі було запропоновано використання ШНМ глибинного навчання для визначення очікуваного значення втрат під час формування їх погодинного графіка закупівлі операторами систем розподілу на ринку електричної енергії України за рахунок використання прогнозів вулових навантажень і подальшого їх застосування.

Висновки по дисертаційній роботі підкреслюють наукову новизну та практичну цінність проведених досліджень.

Список використаної літератури із 103 найменувань охоплює сучасні вітчизняні та закордонні публікації за темою дисертаційних досліджень.

Додатки до дисертаційної роботи містять акти впровадження результатів дисертаційної роботи, авторське свідоцтво на комп'ютерну програму та список публікацій.

Відповідність дисертаційної роботи вимогам МОН України

Матеріал дисертації викладено логічно і обґрунтовано, усі розділи мають свою специфіку, котра у сукупності свідчить про цілісність та завершеність дисертаційної роботи. Таким чином, представлена дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, яка написана науковою мовою. Зміст, структура, послідовність та повнота розв'язаних задач цілком відповідають як темі роботи, так і затвердженим вимогам до написання дисертаційних досліджень МОН України.

Зауваження.

1. В роботі є надлишкова інформація (опис існуючих моделей прогнозування; опис метрик для оцінювання якості прогнозів), яку можна було скоротити, замінивши посиланнями на доступні джерела.

2. В роботі аналіз ефективності методів короткострокового прогнозування та методів виявлення аномальних значень проводиться на даних про електричне навантаження для США та ЄС. Чи проводились подібні оцінки для України?

3. В роботі варто було б врахувати наявність в електричних мережах ОСР активних споживачів. Яким чином можна виконати прогнозування такого вузлового електричного навантаження на основі запропонованого методу?

4. Для оцінювання технологічних втрат в електричних мережах потрібна інформація про споживання (генерування) реактивної потужності. Однак, з роботи не зрозуміло, як забезпечується прогнозування реактивної потужності для оцінювання втрат.

5. Автор в роботі пропонує враховувати під час короткострокового прогнозування температуру навколишнього середовища. При цьому висновок щодо впливу цього параметру на точність прогнозу робиться на основі фактично вимірної температури. Чи виконувався аналіз точності прогнозу температури і як це впливає на остаточний результат прогнозу навантаження?

6. Автор широко використовує скорочення АСКУЕ, яке не є загальноприйнятим і коректним.

7. У роботі зустрічаються граматичні помилки, стилістичні неточності та описки, але кількість їх допустима.

Загальний висновок опонента по дисертаційній роботі.

Детальний аналіз матеріалу дисертаційної роботи та опублікованих наукових праць дає змогу стверджувати, що дисертаційна робота Шиманюка Павла Вячеславовича «Короткострокове прогнозування вузлових електричних навантажень в розподільних мережах» містить усі ознаки завершеної наукової роботи. В ній отримано нові науково обґрунтовані теоретичні результати, що дають змогу підвищити показники ефективності роботи оператора системи розподілу.

Дисертаційна робота Шиманюка П.В. є самостійно виконаним науковим дослідженням. Матеріал дисертації викладено послідовно, стиль викладання доказовий, чіткий і лаконічний. Висновки до кожного розділу дисертації в цілому тісно пов'язані з її змістом і відображають суть виконаних досліджень. Публікації автора повністю висвітлюють наукові положення і результати наукових досліджень.

Враховуючи актуальність теми дисертаційної роботи, а також отримані достовірні наукові результати, що мають наукову і практичну значимість, та, враховуючи достатню повноту висвітлення основних положень дисертаційної роботи в опублікованих працях, вважаю, що представлена дисертаційна робота

відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44, а її автор Шиманюк Павло Вячеславович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Офіційний опонент

доктор технічних наук,
професор, завідувач кафедри
електричних станцій та систем
Вінницького національного
технічного університету

Вячеслав КОМАР

Вчений секретар



Інна ВІШТАК

Підпис *В. Коссага*, *І. Віштак*
ПОСВІДЧУЮ
зав. канцелярією *А*