

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»
доктору технічних наук, професору
Півняку Геннадію Григоровичу

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА
кандидата технічних наук,
декана електротехнічного факультету
Кошеленка Євгенія Валерійовича
на дисертаційну роботу Любарцева Вадима Володимировича
«Прогнозування та оптимізація режимів роботи систем електропостачання
з розподіленою генерацією»
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань
14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

Відгук підготовлено на основі аналізу тексту дисертації, наукових публікацій автора, в яких висвітлено результати дисертаційного дослідження, а також документальних матеріалів, що засвідчують впровадження отриманих результатів у практику.

1. Обґрунтування актуальності теми дисертації, її зв'язок із науковими програмами, темами

Обрана Любарцевим В.В. тема дисертаційної роботи є своєчасною та науково обґрунтованою, оскільки спрямована на вирішення актуальних завдань розвитку сучасної електроенергетики України в умовах масштабної трансформації та інтеграції відновлюваних джерел енергії.

На сучасному етапі розвитку енергетичного сектору України особливого значення набуває пошук ефективних шляхів забезпечення енергетичної незалежності, підвищення надійності електропостачання та інтеграції екологічно чистих джерел енергії у національну енергосистему. У світлі глобальних тенденцій декарбонізації та імплементації принципів сталого розвитку, розвиток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) — зокрема, сонячної та вітрової генерації — визначається як стратегічний пріоритет державної політики та науково-технічного прогресу.

Динамічне зростання долі ВДЕ у структурі електроенергетики супроводжується суттєвими змінами у функціонуванні електричних мереж, що обумовлює необхідність переосмислення традиційних підходів до управління та планування режимів їх роботи. Зокрема, перехід від централізованої системи генерування до розподіленої моделі, що передбачає активне

залучення малих генеруючих об'єктів, інтегрованих у розподільчі мережі, створює нові виклики для забезпечення стабільності та якості електропостачання.

Однією з ключових науково-практичних проблем у цьому контексті є розробка ефективних методів прогнозування режимів роботи електричних мереж з інтегрованими ВДЕ. Стохастичний характер генерації відновлюваних джерел, обумовлений мінливістю погодних і сезонних факторів, призводить до підвищення рівня невизначеності у балансуванні попиту та пропозиції електроенергії. Це, у свою чергу, вимагає впровадження сучасних підходів до прогнозування та оперативного управління, здатних забезпечити адаптивність та гнучкість енергосистеми.

Актуальність тематики дисертаційної роботи зумовлена як нагальними потребами галузі, так і її відповідністю пріоритетним напрямам наукових досліджень, визначених державними та міжнародними програмами розвитку енергетики. Зокрема, дослідження сприяє досягненню цілей Енергетичної стратегії України на період до 2035 року, а також інтегрується у загальноєвропейські ініціативи щодо розвитку розумних енергетичних мереж (Smart Grids) і підвищення частки ВДЕ у загальному енергетичному балансі.

Результати дисертації були використані в держбюджетній НДР «Оптимізація режимів систем електропостачання в мережах з розподіленою генерацією» (ДР 0118U006918, 2020 р.).

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність і новизна

Наукові положення, висновки і рекомендації, сформульовані у дисертації, мають високий ступінь обґрунтованості, достовірності та новизни. Зокрема, встановлено, що збільшення граничного значення встановленої потужності відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) до 50% у електричній мережі з розподіленою генерацією призводить до зростання похибки прогнозування перетоків потужності. Це явище пояснюється нестационарною варіабельністю генерації ВДЕ та особливостями електромагнітних процесів у мережах обмеженої потужності. Запропоновані у дисертації моделювальні дослідження підтверджують цей зв'язок, демонструючи зростання похибки прогнозування з 7,67% до 10,51% при збільшенні частки встановленої потужності ВДЕ з 5% до 50%. Такий підхід дає змогу глибше зрозуміти вплив високого рівня інтеграції ВДЕ на роботу енергосистеми, що є актуальним для сучасних умов розвитку розподіленої генерації.

Важливою інновацією дисертації є використання питомої генерації на одиницю інсоляції (P^*), що дозволяє комплексно врахувати вплив метеорологічних параметрів на генерацію сонячних електростанцій. Цей підхід оптимізує вибір даних для навчання штучних нейронних мереж, що зменшує розбіжність між реальним та прогнозованим добовим графіком генерації ВДЕ на 20%. Запропонований метод значно спрощує процес прогнозування, підвищуючи його точність та ефективність, що має велике практичне значення для операторів енергосистем.

Метод прогнозування за допомогою штучних нейронних мереж, розроблений у роботі, є комплексним і дозволяє одночасно враховувати режими роботи усіх складових енергосистеми — споживачів, вітрових та сонячних електростанцій, а також метеопараметри, що впливають на генерацію ВДЕ. Такий підхід розширює межі традиційних моделей і забезпечує більш точне та надійне прогнозування режимів роботи мережі. Це є суттєвим внеском у розвиток методології управління сучасними розподільчими мережами з високою часткою відновлюваної генерації.

Отже, наукові результати дисертації мають наукову новизну, достовірні та практичну значущість. Запропоновані методи і підходи можуть бути успішно впроваджені в практику для підвищення ефективності управління енергосистемами з розподіленою генерацією ВДЕ, що робить дослідження актуальним і перспективним у контексті сучасних викликів енергетики.

3. Оцінка змісту роботи та повноти викладу результатів дисертації в опублікованих працях

Дисертаційна робота присвячена актуальній проблемі розробки методів прогнозування режимів роботи мереж з розподіленою генерацією, що має особливе значення в умовах сучасної енергетики України, зокрема з огляду на зростання ролі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та підвищення стійкості енергосистеми до зовнішніх впливів. У роботі послідовно розглянуто:

- Аналіз існуючих підходів до прогнозування електричних навантажень, порівняння статистичних методів із сучасними підходами машинного навчання та штучних нейронних мереж, із наведенням показників точності (MAPE, %) для різних класів моделей;
- Особливості прогнозування для мереж з розподіленою генерацією, врахування впливу просьюмерів, метеорологічних факторів та інтеграції ВДЕ;
- Дослідження точності прогнозування виробництва електроенергії сонячними та вітровими електростанціями із застосуванням нейронних мереж, включаючи аналіз впливу різних метеопараметрів та розміру навчальної вибірки.
- Розробку та моделювання мережі з розподіленою генерацією у середовищі Simulink/MATLAB із застосуванням реальних даних, оцінку точності прогнозування для різних рівнів інтеграції ВДЕ.

Результати дослідження викладені послідовно й логічно, кожен розділ містить як теоретичне обґрунтування, так і практичну реалізацію з аналізом отриманих результатів. В роботі наведено порівняльні характеристики точності різних підходів до прогнозування, що дозволяє обґрунтовано оцінити переваги застосування нейронних мереж у задачах прогнозування для мереж з розподіленою генерацією. Окремо підкреслено важливість урахування зовнішніх факторів (метеоданих).

У роботі наведено числові значення похибок прогнозування (MAPE, %) для різних сценаріїв, що свідчить про достатню деталізацію результатів. Проведено аналіз кореляцій між виробництвом електроенергії та

метеопараметрами, а також експериментально обґрунтовано вибір ключових вхідних параметрів для моделей прогнозування. Моделювання роботи мережі з розподіленою генерацією виконано на реальних даних з достатньою тривалістю (180 днів), що забезпечує достовірність та репрезентативність отриманих результатів.

4. Практичне значення роботи

Дисертаційна робота має значне практичне значення, що підтверджується кількома ключовими аспектами. Розроблена методика прогнозування є цінним інструментом для операторів системи передачі (ОСП) та операторів системи розподілу (ОСР). Її використання дозволяє значно підвищити точність управління режимами роботи мереж з розподіленою генерацією (МРГ), що є критично важливим для покращення балансування енергосистеми, оптимізації диспетчеризації та зниження ризиків, пов'язаних із невизначеністю генерації відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).

Практична цінність розроблених методів прогнозування підтверджена їх успішним впровадженням у промислову експлуатацію. Зокрема, ці методи вже використовуються на АТ «Нікопольський завод феросплавів» та ТОВ «ДТЕК Покровська СЕС». Це впровадження отримало позитивні відгуки від представників компаній, оскільки воно значно спростило процеси прогнозування та диспетчеризації в мережах з ВДЕ. У перспективі таке застосування дозволить знизити фінансові витрати від небалансів на енергоринку.

Окрім прямого виробничого застосування, матеріали дослідження також інтегровані в освітній процес. Вони активно використовуються у навчальних програмах на кафедрі електроенергетики НТУ «Дніпровська політехніка» та кафедрі автоматизації систем електропостачання та електроприводу ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет». Це свідчить про актуальність отриманих результатів, сприяючи підготовці майбутніх фахівців у галузі енергетики.

5. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

За результатами вивчення тексту дисертації, аналізу наукових публікацій здобувача та перевірки на плагіат, наданого відповідно до пп. 4.2.5 затвердженого Положення про систему запобігання та виявлення плагіату Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», не встановлено порушень здобувачем принципів академічної доброчесності. Всі представлені на захист результати дослідження є оригінальними та отримані здобувачем особисто. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, що повною мірою відповідає профілю спеціальності 141. Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

6. Дискусійні положення та зауваження щодо змісту та оформлення дисертації

У цілому дисертація справляє позитивне враження, проте є необхідність

сформулювати деякі зауваження:

- Доцільно викладати більше проміжних результатів обчислень, що дозволило б детальніше простежити логіку виконаних етапів дослідження, підвищити прозорість розрахунків та забезпечити кращу перевірку отриманих результатів. У разі перевантаження основного тексту такими деталями, доцільним є їхнє винесення до додатків;

- На сторінках 63–66 представлено математичні формули алгоритму зворотного поширення похибки для навчання нейронної мережі. Водночас не зовсім зрозуміло, чи цей виклад є авторською реалізацією моделі, що була згодом запрограмована в середовищі Simulink, чи це лише розгорнута інтерпретація принципів роботи стандартних вбудованих функцій програмного забезпечення. У разі другого варіанту наведення повної математичної розшифровки не є обов'язковим і доцільніше було б обмежитися відповідними посиланнями на джерела;

- У роботі не деталізовано підхід до попереднього налаштування вагових коефіцієнтів вхідного шару нейронної мережі. Зокрема, незрозуміло, чи враховувався внесок кожного з вхідних параметрів у загальну ефективність моделі. Відсутність цієї інформації ускладнює оцінку повноти та обґрунтованості налаштування структури моделі на початковому етапі навчання.

Зауваження мають уточнювальний характер і не впливають на загальні позитивні висновки по роботі.

7. Висновок про дисертаційну роботу

Зміст дисертаційної роботи є повним, результати викладені логічно, із належною деталізацією, що дозволяє оцінити їхню наукову новизну, практичну цінність і можливість впровадження.

Основні результати дисертаційної роботи є завершеними, чітко структурованими та достатньо повно представленими для апробації у наукових публікаціях. Зміст роботи відповідає сучасному рівню досліджень у галузі прогнозування режимів роботи електричних мереж з розподіленою генерацією, а отримані результати мають як теоретичне, так і практичне значення для фахівців галузі.

Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені наказом МОН України №40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (зі змінами) та «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 р. №44.

Здобувач Любарцев Вадим Володимирович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141. Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Рецензент:

кандидат технічних наук,
декан електротехнічного факультету
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»

Євгеній КОШЕЛЕНКО

«17» червня 2025 р.