

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

**ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА, кандидата технічних наук, доцента,
професора кафедри електроенергетики
Луценко Івана Миколайовича 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»

1. Загальна характеристика роботи

Повний обсяг роботи 180 сторінок, у тому числі 125 сторінок основного тексту. Робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків, список використаних джерел налічує 107 найменувань.

До розгляду подано дисертацію на здобуття ступеня доктора філософії та копії усіх опублікованих автором робіт, які відображають результати та зміст дослідження.

2. Оцінка актуальності теми дисертаційної роботи

Сучасні виклики енергетичної безпеки, зростаючий попит на екологічно чисту енергію та необхідність зменшення залежності від традиційних джерел електрозабезпечення обумовлюють актуальність інтенсивного розвитку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в Україні. У контексті глобального енергетичного переходу до низьковуглецевої економіки, ВДЕ – насамперед сонячна та вітрова енергетика – відіграють ключову роль у формуванні стійкої, децентралізованої та адаптивної енергосистеми.

Зростання встановлених потужностей ВДЕ супроводжується активним впровадженням технологій розподіленої генерації, що змінює традиційну архітектуру електроенергетичних систем. Від централізованої моделі, з передачею енергії від великих генеруючих об'єктів до споживача, система

трансформується у багаторівневу мережу з великою кількістю малих генеруючих установок, інтегрованих безпосередньо у розподільчі мережі.

Проте така трансформація супроводжується низкою системних проблем. Однією з найскладніших є проблема прогнозування режимів роботи електричних мереж з інтегрованими ВДЕ. Структурна нестабільність генерації, зумовлена стохастичним характером природних ресурсів (сонячної радіації, вітру), призводить до зростання невизначеності у процесах балансування попиту і пропозиції електроенергії. Відсутність точних прогнозів виробітку ВДЕ може спричинити неузгодженість режимів роботи елементів системи, погіршення якості електроенергії, зниження надійності електропостачання та необхідність залучення резервних потужностей.

У зв'язку з цим особливої уваги набувають питання розробки і впровадження ефективних методів прогнозування навантаження та генерації ВДЕ, з урахуванням часових коливань, сезонних та погодних факторів, а також адаптивних алгоритмів оперативного управління режимами роботи енергосистем з високим рівнем розподіленої генерації.

Таким чином, тема дисертаційної роботи є актуальною, оскільки відповідає сучасним викликам у сфері енергетики, зокрема в умовах трансформації електроенергетичної системи України.

3. Оцінка наукових результатів дисертаційної роботи

Наукові результати, викладені в дисертаційній роботі, мають вагоме теоретичне й прикладне значення для розвитку сучасних підходів до прогнозування режимів роботи електричних мереж з інтегрованими відновлюваними джерелами енергії. Любарцевим В.В. запропоновано метод прогнозування на основі штучних нейронних мереж, який, на відміну від існуючих рішень, дозволяє враховувати одночасно взаємодію споживачів, сонячних і вітрових електростанцій, а також метеопараметрів, що впливають на генерацію ВДЕ. Це забезпечує комплексне охоплення усіх ключових складових енергосистеми при прогнозуванні її режимів роботи.

Дисертантом також проведено моделювання впливу встановленої потужності ВДЕ на точність прогнозування. Встановлено, що зі зростанням частки ВДЕ в мережі зростає й похибка прогнозування: зокрема, збільшення частки встановленої потужності з 5% до 50% супроводжується зростанням середньої похибки з 7,67% до 10,51%. Ці результати є важливими для оцінки надійності прогнозів у мережах з високою часткою генерації на базі ВДЕ.

Окрему увагу заслуговує обґрунтування доцільності використання питомої генерації на одиницю інсоляції, як параметра для формування навчальної вибірки нейронної мережі. Такий підхід дозволяє не лише

враховувати сукупний вплив метеорологічних факторів на продуктивність фотоелектричних СЕС, але й суттєво зменшує обсяг необхідних вхідних даних без втрати точності прогнозу. Це рішення підвищує ефективність обчислень та адаптивність прогнозної моделі до різних погодних умов.

У цілому, наукові результати дисертаційної роботи є логічно обґрунтованими, новими та значущими для практики планування та управління режимами роботи електричних мереж з розподіленою генерацією в умовах зростання ролі ВДЕ.

4. Оцінка практичного значення результатів роботи

Дисертаційна робота має значну практичну цінність, що підтверджується як результатами її впровадження, так і позитивними відгуками з боку підприємств галузі. Запропонована методика прогнозування режимів роботи мереж з розподіленою генерацією, що базується на використанні штучних нейронних мереж, може ефективно застосовуватися операторами системи передачі (ОСП) та операторами системи розподілу (ОСР) для підвищення точності управління режимами електричних мереж. Вона має прикладне значення для задач оперативного планування, балансування навантаження, оптимізації диспетчерських рішень та зменшення ризиків, пов'язаних з прогнозною невизначеністю генерації від ВДЕ.

Практична апробація розроблених методів, зокрема в умовах АТ «Нікопольський завод феросплавів» та ТОВ «ДТЕК Покровська СЕС», свідчить про їхню ефективність у реальному секторі енергетики. Застосування запропонованого підходу дозволило автоматизувати та спростити процеси прогнозування генерації та диспетчеризації, що, у свою чергу, сприяє зниженню фінансових витрат підприємств, пов'язаних із оплатою небалансів на ринку електроенергії. Позитивні відгуки від практиків підтверджують доцільність та технологічну готовність запропонованих рішень.

Теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи були застосовані під час виконання державної бюджетної науково-дослідної роботи «Оптимізація режимів систем електропостачання в мережах з розподіленою генерацією» (ДР 0118U006918, 2020 р.).

Крім того, результати досліджень вже використовуються в освітньому процесі на кафедрі електроенергетики НТУ «Дніпровська політехніка» та кафедрі автоматизації систем електропостачання та електроприводу Приазовського державного технічного університету. Це свідчить не лише про прикладну, а й про методичну цінність виконаної роботи, що сприятиме підготовці фахівців нового покоління в галузі електроенергетики.

5. Оцінка достовірності та обґрунтованості основних положень і висновків дисертації

Наукові положення, висновки та пропозиції у достатній мірі обґрунтовані результатами проведених експериментів в релевантних умовах на обладнанні лабораторії відновлюваних джерел Приазовського державного технічного університету.

Нові наукові результати та положення повністю відображені у 14 друкованих працях, з них 2 – статті у фахових виданнях України, 4 у виданнях, які включено до наукометричної бази Scopus, 8 – матеріали наукових конференцій.

Результати роботи достатньо висвітлено та апробовано на всеукраїнських та міжнародних конференціях. Кількість публікацій, їх повнота та обсяг у достатній мірі відображають особистий внесок автора і відповідають вимогам, що висуваються до дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

6. Оцінка змісту й оформлення дисертації

Дисертаційна робота виконана українською мовою з дотриманням норм наукового стилю викладення та використанням загальноприйнятої термінології. Матеріал представлено у чіткій логічній послідовності, що відповідає сформульованим меті та завданням дослідження.

Зміст дисертаційної роботи свідчить про її актуальність, наукову зрілість та комплексний підхід до вирішення поставлених задач. У роботі послідовно розкрито проблематику прогнозування режимів роботи мереж з розподіленою генерацією, обґрунтовано необхідність врахування особливостей інтеграції ВДЕ, зокрема залежності від погодних умов, сезонності та мінливості навантажень. В роботі продемонстровано розуміння предметної області, виконано ґрунтовний огляд сучасного стану досліджень, методів прогнозування та практичних викликів, пов'язаних із роботою мереж з розподіленою генерацією.

Структура дисертації є логічною, кожний розділ є послідовним продовженням попереднього, що забезпечує цілісне сприйняття наукового дослідження. У першому розділі наведено аналіз ефективності прогнозних моделей та їх похибок (зокрема, через показник MAPE, %), що дає змогу об'єктивно порівнювати підходи. У наступних розділах Любарцев В.В. послідовно переходить від теоретичних моделей до практичної реалізації прогнозів для сонячної та вітрової генерації, з подальшим моделюванням інтегрованої системи у середовищі Simulink/MATLAB. Такий підхід

забезпечує як наукову обґрунтованість, так і прикладну цінність отриманих результатів.

Зміст роботи демонструє здатність поєднувати методи штучного інтелекту з енергетичними задачами. Значну увагу приділено підготовці та нормалізації вхідних даних, кореляційному аналізу впливу метеопараметрів, а також параметрам навчання нейронних мереж.

Оформлення дисертації виконано згідно чинних вимог для наукових праць. Текст є структурованим, виклад логічний та послідовний, використано сучасну технічну термінологію. Наведені ілюстрації, графіки та таблиці доповнюють виклад матеріалу та допомагають візуалізувати отримані результати.

7. Зауваження до дисертаційної роботи

1. У дисертаційній роботі використано широкий та вичерпний перелік джерел, однак доцільним було б приділити більшу увагу науковим здобуткам вітчизняних дослідників у сфері прогнозування режимів роботи електричних мереж.

2. У таблиці 2.5 розділу 2.6.4 наведено різні методи навчання нейронних мереж із зазначенням їхніх особливостей, однак подану інформацію представлено без зв'язку з контекстом дослідження. Доцільно було б доповнити виклад порівняльним аналізом зазначених методів з урахуванням специфіки поставлених у роботі завдань.

3. У розділі 2.6.3 для порівняння методів прогнозування електричних навантажень використано статистичну модель ARIMA, яка дійсно є одним із ефективних інструментів для аналізу часових рядів. Водночас доцільним було б розширити розгляд і проаналізувати інші поширені статистичні методи прогнозування, яких існує значна кількість, що могло б надати ширшу базу для порівняння та підвищити обґрунтованість зроблених висновків.

Вважаю, що зазначені зауваження не є принциповими, не зменшують наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

8. Висновок про дисертаційну роботу

Дисертаційна робота Любарцева В.В. присвячена актуальній науковій проблемі прогнозування режимів роботи мереж з розподіленою генерацією з урахуванням зростаючої ролі відновлюваних джерел енергії в сучасних енергосистемах. У роботі подано аналіз існуючих підходів до прогнозування навантажень, розроблено й реалізовано комплекс методів на основі нейронних мереж і статистичних моделей, що забезпечують високу точність прогнозів.

Результати апробовані на реальних даних та впроваджені на підприємствах енергетичного сектору, що свідчить про їх практичну цінність.

Дисертація відзначається структурованістю, послідовністю викладення матеріалу, обґрунтованістю наукових положень і відповідним оформленням. Автором продемонстровано високу обізнаність у предметній галузі, вміння працювати з науковими джерелами, здійснювати аналітичні узагальнення та проводити прикладні дослідження.

Робота виконана з дотриманням принципів академічної доброчесності: у тексті наведено посилання на використані джерела, відсутні прояви плагіату, а результати, що належать автору, чітко виділені. Висловлені зауваження мають рекомендаційний характер і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертації.

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, доцент,
професор кафедри електроенергетики
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»



Іван ЛУЦЕНКО

«17» червня 2025р.