

ВІДГУК

офіційного опонента по дисертаційній роботі КОТИЛКО Ірини Вадимівни

“Оптимізація сумісного використання різнотипних відновлюваних джерел енергії для підвищення надійності роботи електричних мереж”,
подану на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи

Актуальність теми дисертаційного дослідження, її зв'язок з науковими програмами і планами

Стійка тенденція зростання частки відновлювальних джерел енергії в структурі генеруючих потужностей енергосистем світу та України зокрема обумовлена розвитком інноваційних технологій, направлених на декарбонізацію енергетики. Технології розвиваються за тими самими законами, що й відбувається еволюція у природі – у напрямку збільшення ентропії Всесвіту. Очевидно, що СЕС та ВЕС ефективніше розсіюють енергію порівняно із традиційними типами електростанцій.

Разом з тим, розвиток технологій відновлюваної енергетики обмежений рядом технологічних проблем, із викликами яких зіткнулись, свого часу, передові енергосистеми світу, зокрема корінна реорганізація систем передачі та розподілу електричної енергії, орієнтованих на централізоване енергопостачання та вирішення проблеми балансування потужності ВДЕ, режим яких визначається поточними погодними умовами. На сьогодні такі проблеми постали і перед Україною. Так, відповідно до результатів досліджень, проведених ДП «НЕК Укренерго», оприлюднених у нефінансовому звіті за 2018 р. максимальна потужність ВДЕ, яка не призведе до істотних відхилень в роботі ОЕС України оцінюється в 4750 МВт, у тому числі 3000 МВт СЕС та 1750 МВт ВЕС. Станом на червень поточного року сумарна потужність СЕС та ВЕС в ОЕС України становила 2162 МВт та 612 МВт відповідно. Отже, без вирішення зазначених проблем неможливий подальший розвиток ВДЕ із наростаючими темпами, які спостерігаються останніми роками.

Саме розв'язанню задачі балансування потужності ВДЕ присвячено дисертаційне дослідження Котилко І. В.

Підтвердженням важливості та необхідності проведення наукових досліджень, результати яких представлено у дисертаційній роботі є те, що вони проводились протягом останніх років за науковим напрямом кафедри електричних станцій і систем Вінницького національного технічного університету за держбюджетними темами «Інтелектуалізація електроенергетичних систем з відновлюваними джерелами енергії на основі принципу Гамільтона-Остроградського», «Інтегрування нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в електричні мережі для підвищення їх енергоефективності з використанням SMART GRID технологій» та теми за господарчим договором з Подільським енергоконсалтингом «Програмно-апаратний комплекс прогнозування режимів

функціонування фотовольтаїчних електричних станцій». Авторка брала участь у виконанні вищевказаних робіт як виконавець.

Оцінка змісту дисертаційної роботи і його відповідність меті та поставленим завданням досліджень

Структурно дисертаційна робота І. В. Котилко складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури і 4 додатків. Загальний обсяг роботи – 175 сторінок. Основний зміст викладено на 109 сторінках друкованого тексту, містить 48 рисунків, 10 таблиць.

У *вступі* обґрунтовано актуальність дисертаційного дослідження, сформульовано мету та задачі. Зазначено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, викладено основні положення, які виносяться на захист та наведені відомості про апробацію та публікацію основних результатів роботи.

У *першому розділі* проаналізовано умови функціонування розподільних електричних мереж із відновлюваною генерацією в умовах впровадження нового ринку електричної енергії, показано вплив нестабільності генерування відновлюваних джерел енергії на надійність та безперебійність електропостачання та якість електричної енергії в них. Показано, що разом із високими темпами зростання частки відновлювальної генерації в Україні, можливості акцепції потужностей ВЕС об'єднаною енергосистемою обмежені недостатнім їх резервуванням маневровими потужностями, що критично знижує балансову надійність в структурі генерації ОЕС України. Визначено напрями вдосконалення систем підтримки балансової надійності в локальних електричних мережах із відновлювальною генерацією та уточнені задачі наукового дослідження.

У *другому розділі* розроблено математичні моделі для визначення обсягів генерування фотоелектричних станцій, які може прийняти об'єднана енергосистема України. Наведена інформація про економічні важелі забезпечення відповідальності гравців ринку електричної енергії, перш за все – операторів ВДЕ, за недотримання зобов'язань щодо графіків навантаження генераторів електричних станцій. Проаналізовано проблеми, пов'язані із забезпеченням точності прогнозування погодних умов в районі ФЕС, що напряму впливає на обсяги генерації електричної енергії. Встановлено, що подальший розвиток ВДЕ можливий лише за умови збільшення маневрових потужностей. Запропоновано використання накопичувачів електроенергії Battery Energy Storage System для подальшого нарощування генерації ВДЕ в електричних системах. Показано, що такі системи акумуляції електричної енергії можна використовувати для дотримання навантаження ФЕС на добу наперед. Встановлено, що розвиток таких систем в енергосистемах України обумовить витиснення теплової генерації із сумарного графіку покриття навантаження ОЕС України. Сформовано цільову техніко-економічну функцію оптимальності потужності та ємності САЕ з урахуванням витрат на будівництво та експлуатацію системи, вартість покриття небалансів та зменшення циклів заряд/розряд.

У *третьому розділі* виконана алгоритмічна реалізація запропонованих методів забезпечення балансової надійності ФЕС локальних електричних систем.

Розроблено алгоритми для визначення ємності накопичувача для балансування режиму електричної мережі та підвищення надійності її роботи.

Показано, що інтегрування ВДЕ, зокрема ФЕС в структуру ОЕС України може супроводжуватись підвищенням надійності електропостачання, зокрема покращенням індексів SAIDI і SAIFI, зменшенням втрат електричної енергії на її транспортування та покращенням її якості.

Для підвищення надійності роботи розподільної електричної мережі розроблено алгоритми відновлення електропостачання її споживачів після системної аварії, що базується на оптимальному використанні наявних джерел відновлюваної генерації та САЕ.

У *четвертому розділі* на основі виконання розрахункових експериментів на прикладі реальних електричних мереж Ямпільських РЕМ показано ефективність використання розроблених математичних моделей та методів.

Показано, що позитивний вплив впровадження джерел розосередженого генерування на балансову надійність розподільних електричних мереж визначається типом ВДЕ та мірою їх прогнозованості. Позитивний ефект від їх використання можна досягнути тільки у разі скоординованого сумісного використання ВДЕ.

Загальні *висновки* по дисертації є коректними та відображають наукові та практичні результати, отримані автором.

Список використаних джерел із 108 найменувань охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації за темою дисертаційних досліджень.

В *додатках* до дисертаційної роботи наведено результати розрахунку усталеного режиму фрагменту схеми Ямпільських електричних мереж з урахуванням впровадження САЕ та результати розрахунку режиму відновленого електропостачання фрагменту схеми Ямпільських електричних мереж, реалізовані в програмному середовищі PowerFactory. Також додатки містять довідки про позитивні результати впровадження проведених досліджень в ТОВ «НЕСС ЕНЕРДЖІ» та навчальний процес кафедри електричних станцій та систем Вінницького національного технічного університету.

Автореферат повною мірою передає зміст дисертаційного дослідження і не містить положень та висновків, які відсутні у дисертації.

Оформлення дисертаційної роботи та автореферату відповідає вимогам чинних стандартів.

Ступінь обґрунтованості наукових результатів, висновків і рекомендацій

Достовірність отриманих наукових результатів підтверджується коректними постановкою завдання і прийнятими припущеннями щодо особливостей режимів розподільних електричних мереж, які містять у своєму складі джерела розподіленої генерації, застосованими в роботі математичними апаратами статистичних методів оброблення інформації для аналізу результатів розрахунків, методів лінійного та нелінійного програмування для формування алгоритмів пошуку оптимальних розв'язків поставлених задач, методів матричної алгебри,

теорії графів, декомпозиції та об'єктно-орієнтованого аналізу для розроблення алгоритмів і програм аналізу режимів ВДЕ та їх впливу на режими ЛЕС.

Методи та засоби досліджень відповідають поставленим задачам, що забезпечило ефективність їх розв'язання та досягання мети дисертаційної роботи.

Основні результати дослідження достатньо апробовані. Вони доповідались здобувачем та обговорювались на дев'яти міжнародних наукових та науково-технічних конференціях і опубліковані у 12 наукових роботах, серед яких 1 стаття проіндексована в базі даних Scopus, 6 статей у фахових виданнях України та 6 публікації у збірниках матеріалів міжнародних конференцій.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження

Результати виконання дисертаційного дослідження містять елементи наукової новизни, зокрема

– вперше запропоновано метод підвищення надійності роботи розподільних електричних мереж з різнотипними відновлювальними джерелами енергії, що ґрунтується на подачі живлення від джерела з гарантованим графіком генерування на шини фотоелектричної станції;

– вдосконалено метод визначення ємності накопичувача енергії для покриття небалансів фотоелектричної станції, що дозволяє зменшити штрафні санкції через неточність прогнозування графіка генерування на добу наперед та забезпечити балансову надійність ВДЕ;

– встановлено залежності зменшення теплової генерації та нарощування потужностей систем акумулювання енергії для збільшення частки фотоелектричних станцій в загальному балансі потужностей.

Практична цінність отриманих результатів

Практична цінність роботи полягає в тому, що на підставі результатів виконаних досліджень розв'язана задача підвищення надійності електричних мереж з відновлювальними джерелами енергії, що полягає у визначенні оптимальних схем приєднання до мережі та обсягів балансувальних потужностей.

За результатами проведених теоретичних досліджень розроблено метод відновлення електропостачання споживачів електричної мережі та виконано його алгоритмічну реалізацію, що дозволяє покращити показник середньої тривалості перерв в електропостачанні. Використовуючи даний метод, можна досягти зменшення перерв в електропостачанні на 5%, а також забезпечити дотримання нормативних відхилень напруги в процесі генерування електроенергії. Запропонований підхід реалізовано та передано для дослідної експлуатації в ТОВ «НЕСС ЕНЕРДЖІ» (довідка про впровадження від 03.09.2019 р.). Розроблені у роботі метод та алгоритм визначення ємності накопичувача, що рекомендується для встановлення на фотоелектричні станції, передано для дослідної експлуатації до ТОВ «НЕСС РНД ЦЕНТР». Результати дисертаційного дослідження впроваджено в навчальний процес Вінницького національного технічного університету.

Зауваження по роботі

1. Назва дисертаційної роботи не повною мірою відбиває її зміст та наукове значення. Зокрема, назва не відображає вирішення задачі балансування потужності ВДЕ в локальних електричних системах за допомогою накопичувачів електричної енергії.

2. У висновках по роботі говориться про обґрунтування застосування пристроїв Battery Energy Storage System для балансування потужності ВДЕ, зокрема ФЕС. Проте у тексті дисертації нічого не говориться про альтернативні способи накопичування енергії в електричних системах, отже обґрунтування носить декларативний характер.

3. В роботі використана техніко-економічна модель визначення оптимальної ємності накопичування, яка базується на розрахунку зведених витрат. Це допустимо з погляду норм проектування та обґрунтування конструктивного виконання електричних мереж (ГКД 340.000.002-97). Проте такий підхід є дещо застарілим та ґрунтується на певних спрощеннях, які знижують точність та адекватність моделі. Зокрема, в моделі використана лінійна залежність вартості накопичувача енергії від її ємності; прийнятий фіксований термін окупності системи 8 років; застосована фіксована ставка штрафних санкцій за недотримання зобов'язань щодо графіку навантаження ВДЕ на добу наперед для всього розрахункового періоду. Для забезпечення обґрунтованості отриманих результатів слід було б розглянути й інші показники економічної ефективності, наприклад, рентабельність, термін окупності тощо.

Крім того, опис запропонованої техніко-економічної математичної моделі зустрічається в тексті дисертації тричі – у другому, третьому та четвертому розділах. Потрібно було такий опис навести тільки один раз, а далі наводити посилання на нього.

4. Запропоноване в роботі застосування накопичувачів електричної енергії для груп електростанцій визначає постановку задачі дослідження законів управління такою структурою, вирішення якої відсутнє.

5. Запропонований в роботі алгоритм відновлення електропостачання споживачів локальної електричної системи за допомогою різнотипних відновлювальних джерел електричної енергії визначає постановку додаткової задачі корегування характеристик накопичувачів енергії, зокрема їх ємності для забезпечення необхідної надійності процесу відновлення.

6. Висновки до розділу 3 носять декларативний характер і не відображають результатів досліджень, наведених у розділі.

7. Дисертаційна робота містить ряд термінологічних неточностей, зокрема авторка плутається в термінах потужність, енергія та ємність накопичувача.

8. Перелік умовних позначень містить ряд скорочень, які зустрічаються в тексті дисертації тільки один раз в оглядовій частині, або взагалі не зустрічаються в тексті дисертації, зокрема EUE, LOEE, LOLE, LOLP, ОІК, ПБН тощо.

9. Перелік літератури містить ряд найменувань, посилання на які відсутні у тексті дисертації (13-28, 30-43).

Крім перерахованих зауважень, що відносяться до змістовної частини дисертаційної роботи, необхідно відзначити деякі недоліки, пов'язані з описками, вживанням стилістично неузгоджених речень, незначними орфографічними та граматичними помилками.

Наведені зауваження не стосуються принципових положень і результатів дисертації, тому не знижують її наукову і практичну цінність.

Висновки

Дисертація Котилко Ірини Вадимівни на тему «Оптимізація сумісного використання різнотипних відновлювальних джерел енергії для підвищення надійності роботи електричних мереж» є завершеним науковим дослідженням, в якому вирішено актуальну наукову задачу з теорії режимів електроенергетичних систем, пов'язану з оптимізацією впровадження систем акумулювання енергії в розподільних електричних мережах для балансування потужності джерел розподіленої генерації, зокрема фотоелектростанцій.

За змістом і отриманими результатами дисертаційна робота відповідає вимогам пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» щодо кандидатських дисертацій. Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи, а її авторка – **Котилко Ірина Вадимівна** заслуговує присудження вченого ступеня кандидата технічних наук.

Офіційний опонент, кандидат технічних наук,
доцент кафедри електричних мереж та систем
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

