

ВІДГУК

офіційного опонента по дисертаційній роботі СІКОРСЬКОЇ Олени Вікторівни

“Розосереджене генерування в задачах підвищення енергоефективності розподільних 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 (ВДЕ) в структурі генеруючих потужностей енергосистем світу та України зокрема обумовлена розвитком інноваційних технологій, направлених на декарбонізацію енергетики та заміщенню традиційних джерел енергії відновлювальними в загальному енергетичному балансі. Це супроводжується переходом від централізованого електропостачання від надпотужних електричних станцій та магістральних електричних мереж до розподіленого електропостачання локальних районів місцевими стаціями відновлювальної енергетики. Такі тенденції визначають докорінну зміну напрямів перетоків енергії не тільки відповідно до режиму електроприймачів, але й відповідно до добового «циркадного» сонячного ритму та поточних погодних умов.

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 балансової надійності енергосистем із значною часткою електростанцій із негарантованою потужністю. На сьогодні такі проблеми постали і перед Україною. Незбалансоване економічне стимулювання розвитку відновлювальної енергетики у другій половині минулого десятиріччя призвело до певних кризових явищ, які проявились після впровадження ринку електричної енергії в Україні. До того ж електричні мережі Об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України виявились неспроможними «прийняти» надлишкову генерацію сонячних та вітрових станцій без певних обмежень.

Як наслідок, намітилась певна тенденція зниження темпів зростання впровадження ВДЕ в ОЕС України. Так в 2020 р загальна встановлена потужність сонячних електростанцій (СЕС) зросла всього на 1383 МВт проти 2330 МВт в 2019 році. Для вітрових стацій (ВЕС) темпи зростання встановленої потужності характеризуються такими цифрами: 45,7 МВт в 2020 р проти 636 МВт в 2019 р.

Саме розв'язанню науково-технічної задачі оптимального впровадження ВДЕ до складу енергосистеми із мінімальним впливом на режими мереж вищих класів номінальної напруги присвячено дисертаційне дослідження Олени Сікорської.

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 «Оптимізація функціонування електричних мереж енергосистем в умовах зростання навантаження споживачів та децентралізації їх живлення» (№ держреєстрації 0110U002161), «Методи та засоби оптимізації сумісної роботи локальних електричних систем з відновлюваними джерелами енергії та систем централізованого електропостачання» (№ держреєстрації 0113U003138) та «Інтелектуалізація електроенергетичних систем з відновлюваними джерелами енергії на основі принципу Гамільтона-Остроградського» (№ держреєстрації 015U001120), «Інтегрування нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в електричні мережі для підвищення їх енергоефективності з використанням SMART GRID технологій» (№ держреєстрації 0118U000206). Авторка брала участь у виконанні вищевказаних робіт як виконавець.

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

Структурно дисертаційна робота Олени Сікорської складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури і додатків. Загальний обсяг роботи – 198 сторінок. Основний зміст викладено на 175 сторінках друкованого тексту, містить 114 рисунків.

У *вступі* обґрунтовано актуальність дисертаційного дослідження, сформульовано мету та поставлено 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* розглянуто проблему визначення та шляхи зниження негативного впливу ВДЕ на енергоефективність розподільних електричних мереж, а також проаналізовано найбільш ефективні електроощадні заходи для електричних мереж напругою 10(6) кВ. Показано, що зростання частки відновлюваних джерел в енергетичному балансі України зумовила завантаження великої кількості розподільних ліній і трансформаторів. Це призвело до істотного погіршення техніко-економічних показників режимів розподільних електричних мереж та до зниження надійності електропостачання та якості електроенергії. Визначено напрямки вирішення поставленої проблеми на підставі комплексного підходу, який включає проведення організаційних і технічних електроощадних заходів, а також розвиток і реконструкцію електричних мереж. За результатами проведених натурних і розрахункових експериментів в були визначені основні задачі для дослідження і методи їх розв'язання.

У *другому розділі* представлено метод визначення оптимальних активної і реактивної потужності ВДЕ та проведено моделювання технічних можливостей фотоелектричної станції щодо компенсації реактивної потужності в розподільній

електричній мережі. Представлено огляд та проведено порівняльний аналіз методів еквівалентування в задачах оцінювання впливу ВДЕ на параметри електричної системи. Удосконалено метод визначення оптимального значення встановленої активної потужності ВДЕ. Вдосконалено метод врахування взаємовпливу мереж різних класів напруги енергопостачальної компанії з ВДЕ за реактивною потужністю. Показано що запропонований метод можна використовувати не тільки на стадії проектування, але й під час експлуатації розподільних мереж із ВДЕ. Для підтвердження висновків виконано математичне моделювання в середовищі Simulink Matlab.

Виконано вдосконалення методу визначення законів регулювання режиму реактивної потужності інверторів СЕС, направлених на зменшення втрат активної потужності. Розроблений метод, що базується на аналізі чутливості втрат потужності, дозволяє однозначно характеризувати можливість та доцільність використання СЕС для компенсації реактивної потужності, як найбільш впливового заходу зі зменшення втрат для цього фрагменту електричних мереж за енергетичним критерієм. Показано, що відсутність достатнього об'єму вихідної інформації для повноцінного моделювання режимів електричних мереж різних класів напруги не дозволяє в повній мірі врахувати відновлювані джерела енергії. Тому в роботі виконано вдосконалення методу визначення взаємовпливу електричних мереж різних класів напруги, шляхом врахування режиму відновлюваних джерел енергії в мережах нижчих класів напруги шляхом уточнення напрямків перетікання енергії та потужності в точці примикання до мереж вищих класів напруги.

У *третьому розділі* здійснено адаптацію інтегрального показника якості функціонування електричних систем для задач оцінювання рівня енергоефективності електричних мереж з ВДЕ, зокрема СЕС і малих ГЕС. Це дозволило сформулювати умови комплексного розв'язання поставленої задачі, яка включає в себе зменшення втрат електроенергії та покращення її якості, а також забезпечення прийнятної надійності, та розробити етапність впровадження заходів з підвищення ефективності функціонування електричних з ВДЕ. Показано, що завдяки інтегруванню в одному показнику характеристик різних сторін функціонування електричних мереж спрощується оптимізація розвитку електричних мереж з врахуванням відновлюваних джерел енергії та реалізацію заходів з підвищення їх енергоефективності. Запропонований показник дозволяє оцінювати зміну якості функціонування не лише певної розподільної мережі але й дозволяє порівнювати якість функціонування різних за схемою і складом генерувальних і споживчих потужностей розподільних електричних мереж без виконання техніко-економічних розрахунків. На основі інтегрального показника розроблено математичну модель процесу розбудови ВДЕ в електричній мережі та алгоритм оптимізації установленої потужності ВДЕ і розподілення їх в електричній мережі

Ефективність запропонованих методів показана на прикладі розрахунків режимів максимальних та мінімальних навантажень підстанції 110/35/10 кВ за різних умов генерування СЕС і установки когенерації. При цьому запропонований

підхід забезпечує контроль обмежень на параметри режиму електричної мережі в широкому діапазоні зміни генерування ВДЕ в локальних електричних системах.

У *четвертому розділі* наведено результати практичних досліджень ефективності розроблених методів та алгоритмів. В розділі наводяться результати визначення оптимальної встановленої потужності СЕС для схеми електричних мереж ТОВ «Вінницька птахофабрика». Визначено оптимальну встановлену потужність СЕС та проведено перевірку ефективності експлуатації інверторів СЕС в режимі регулятора реактивної потужності. Визначені розрахункові значення пропонованого інтегрального показника ефективності підтверджують доцільність застосування розроблених моделей та методів в задачах забезпечення енергоефективності розподільних електричних мереж із розподіленою генерацією.

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

Список використаної літератури із 83 найменувань охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації за темою дисертаційних досліджень.

В *додатках* до дисертаційної роботи наведено результати розрахунків усталених режимів електричних мережах 110/35/10 кВ ПАТ «Вінницяобленерго», які ілюструють ефективність застосування розроблених в дослідженні моделей та методів забезпечення енергоефективності розподільних мереж.

Також додатки містять довідки про позитивні результати впровадження проведених досліджень в ПАТ «Вінницяобленерго», ТОВ «Енергоінвест» 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 та норм.

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 теорії подібності та аналізу чутливості, нелінійного програмування; застосуванням вузлової розрахункової моделі аналізу усталених режимів електричних систем; застосуванням теорії марковських процесів та критеріального моделювання під час оцінювання якості функціонування розподільних мереж.

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 24 міжнародних та регіональних наукових та науково-технічних конференціях і опубліковані у 17 наукових роботах, серед яких

1 стаття проіндексована в базі даних Scopus, 6 статей у фахових виданнях України та 1 публікація у періодичних виданнях ЄС.

За результатами досліджень отримано патент на корисну модель.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження

Результати виконання дисертаційного дослідження містять елементи наукової новизни, зокрема

– вперше показано вплив різних типів відновлюваних джерел енергії на рівень енергоефективності розподільних електричних мереж, що дозволило сформулювати умови комплексного розв'язання задачі, яка включає в себе зменшення втрат електроенергії та покращення її якості, а також підвищення надійності, і дозволяє розробити етапність впровадження заходів з підвищення ефективності функціонування електричних з ВДЕ.

– набув подальшого розвитку метод визначення взаємовпливу електричних мереж різних класів напруги шляхом врахування режиму роботи відновлюваних джерел енергії в мережах нижчих класів напруги через уточнення напрямків перетікання потужності та її значення в точці примикання до мереж вищих класів напруги.

– вдосконалено метод формування заходів зі зменшення втрат в електричних мережах з врахуванням їх впливу на якість напруги шляхом використання фотоелектричних станцій в режимі компенсації реактивної потужності.

Практична цінність отриманих результатів

Практична цінність роботи полягає в тому, що на підставі результатів виконаних досліджень розв'язано задачу забезпечення енергетичної ефективності та якості електропостачання в розподільних електричних мережах з відновлюваними джерелами енергії. Результати досліджень створюють необхідну наукову базу для визначення впливу ВДЕ на якість електропостачання як окремих споживачів та населених пунктів, так і енергопостачальних компаній в цілому.

Розроблені алгоритми оцінювання ефективності функціонування розподільних електричних мереж дозволяють комплексно оцінювати заходи з підвищення енергоефективності ЕМ з ВДЕ.

Отримані наукові результати використано під час розроблення рекомендацій щодо техніко-економічного обґрунтування розвитку відновлюваної енергетики, які прийнято до впровадження у АТ "Вінницяобленерго". Результати дисертаційної роботи також використовуються у навчальному процесі кафедри електричних станцій і систем ВНТУ.

Зауваження по роботі

1. На мій погляд некоректно говорити про підвищення надійності розподільних електричних мереж у разі оптимального впровадження установок розподіленої генерації. По-перше, як справедливо зазначила авторка, інвертори

фотоелектричних станцій є джерелом вищих гармонік в електричних мережах, що обумовлює підвищену аварійність силового устаткування, тобто понижений рівень надійності. По-друге, впровадження до складу локальної енергосистеми станцій із негарантованою потужністю, зокрема СЕС, обумовлюють очевидну проблему забезпечення балансової надійності. Таким чином варто говорити, наприклад, про допустиме зниження та забезпечення прийняттого рівня надійності в електричних системах із ВДЕ, який без залучення спеціальних заходів залишається пониженим, ніж у разі відсутності ВДЕ.

Рівною мірою наведені міркування стосуються і якості електричної енергії в розподільних мережах із ВДЕ.

2. Запропонована авторкою модель оптимізації розміщення ВДЕ в РЕМ хоча і базується на комплексному підході, не повною мірою враховує низку «неенергетичних» факторів, наприклад, соціального, екологічного, інвестиційного характеру тощо.

3. В підрозділі 1.1 зазначено, що оптимальне рішення щодо точки приєднання СЕС є більш стійким, ніж потужність станції. Такий висновок зроблено на підставі одиничного розрахунку для простої схеми розподільної мережі, що викликає певні сумніви щодо достовірності зазначеного факту.

4. В підрозділі 1.5 розглянуто засоби регулювання реактивної потужності в розподільних електричних мережах, зокрема БСК, які є традиційними в мережах без ВДЕ. У разі впровадження, наприклад, СЕС до складу розподільної мережі як один із опорних режимів розглядають режим денного зниження навантаження в літній режимний день за максимальної генерації СЕС. В такому режимі генерація потужності СЕС може обумовити неприпустиме великий профіль напруги на шинах СЕС та в суміжній мережі. Умови таких режимів обумовлюють необхідність застосування інших пристроїв регулювання, наприклад, керованих шунтувальних реакторів, призначених для додаткового завантаження мережі реактивною потужністю з метою нормалізації режиму напруги.

5. Під час визначення законів регулювання реактивної потужності інверторів СЕС не враховано необхідність обмеження напруги в розподільній мережі. Це може обумовити переведення інвертора в режим споживання реактивної потужності в режимах літнього денного зниження навантаження та, своєю чергою, обумовить збільшення втрат активної потужності в розподільній мережі.

6. В підрозділі 3.1 авторка говорить про створення обширної бібліотеки можливих режимів розподільної мережі та організації пошуку близького до досліджуваного зрізу усталеного режиму під час розв'язання практичних задач. Тут окремого дослідження потребує проблема організації ефективного пошуку в бібліотеці та максимально допустимого об'єму бібліотеки

7. Не зрозуміло, про який програмний комплекс йдеться у висновку 3 до дисертації

8. Дисертаційна робота містить ряд термінологічних неточностей, зокрема авторка одночасно вживає терміни «лінія електропередавання» та «лінія електропередачі». В позначеннях параметрів використано недопустимі відповідно

до чинного стандарту кириличні індекси. В роботі міститься певна кількість орфографічних помилок та стилістично неузгоджених речень.

9. Перелік літератури містить ряд найменувань, посилання на які відсутні у тексті дисертації (55,67, 81, 82).

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

Висновки

Дисертація Сікорської Олени Вікторівни на тему «Розосереджене генерування в задачах підвищення енергоефективності розподільних електричних мереж» є завершеним науковим дослідженням, в якому вирішено актуальну наукову задачу з теорії режимів електроенергетичних систем, пов'язану з оптимізацією впровадження відновлювальних джерел енергії в розподільних електричних мережах із мінімальним впливом на живильні мережі вищих класів номінальної напруги.

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 – **Сікорська Олена Вікторівна** 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»

