

В І Д Г У К

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Сікорської Олени Вікторівни** «Розосереджене генерування в задачах підвищення енергоефективності розподільних електричних мереж», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи

Актуальність теми. Постійне зростання кількості розосереджених джерел електроенергії (РДЕ), приєднаних до електричних мереж (ЕМ), обумовлює необхідність вирішення нових задач, пов'язаних з забезпеченням комбінованого електропостачання – від централізованої електроенергетичної системи (ЕЕС) і відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). Під час рішення цих задач слід враховувати, що існуючі розподільні електричні мережі (РЕМ) 110(35)-10(6) кВ проектувались й вводилися в експлуатацію переважно в 70-х роках минулого століття коли діяли дещо інші вимоги до ЕМ. А саме, за основне вважалось забезпечення необхідного рівня надійності електропостачання від централізованої ЕЕС з використанням схемних рішень й не приділялося достатньої уваги енергоефективності. Також, потрібно звернути увагу, що структурно РЕМ не пристосовані до оптимального керування технологічними процесами від різних джерел електроенергії тому, що до останнього часу майже не існувало засобів контролю параметрів поточного режиму роботи мереж. За таких умов приєднання до РЕМ РДЕ співмірної встановленої потужності привело до невідповідності експлуатаційних умов ЕМ.

В зв'язку з цим, комплексне дослідження впливу розосередженого генерування на показники якості і надійності електричних мереж шляхом вдосконалення методів вибору складу заходів з підвищення енергоефективності в розподільних електричних мережах з відновлюваними джерелами енергії є актуальною науково-прикладною задачею вирішенню якої і присвячена дисертаційна робота Сікорської О.В.

Актуальність теми, відповідно до поданих дисертаційних матеріалів, підтверджується й тим, що результати досліджень є складовою частиною науково-дослідних робіт, виконаних на кафедрі електричних станцій та систем Вінницького національного технічного університету за держбюджетними темами: «Оптимізація функціонування електричних мереж енергосистем в умовах зростання навантаження споживачів та децентралізації їх живлення» (№ї 0110U002161); «Методи та засоби

оптимізації сумісної роботи локальних електричних систем з відновлюваними джерелами енергії та систем централізованого електропостачання» (№ 0113U003138); «Інтелектуалізація електроенергетичних систем з відновлюваними джерелами енергії на основі принципу Гамільтона-Остроградського» (№ 015U001120); «Інтегрування нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в електричні мережі для підвищення їх енергоефективності з використанням SMART GRID технологій» (№ 0118U000206).

Зміст і коротка характеристика результатів досліджень.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертації; сформульовано мету та наукову новизну; вказано практичну цінність отриманих результатів; наведено відомості про публікації за темою роботи, апробацію роботи та особистий внесок здобувача; зафіксовано зв'язок роботи з науковими програмами і темами.

В *першому розділі* досліджено вплив ВДЕ на енергоефективність РЕМ та проаналізовано найбільш ефективні електроощадні заходи для ЕМ. Показано, що розв'язання цих задач вимагає комплексного підходу, який включає проведення організаційних і технічних електроощадних заходів, а також розвиток і реконструкцію ЕМ. Зроблено висновки про необхідність вдосконалення математичних моделей та методів для підвищення енергоефективності РЕМ з ВДЕ.

В *другому розділі* запропоновано шляхи врахування взаємовпливу ЕМ з ВДЕ різних класів напруги енергопостачальної компанії. Показано, що енергоефективність ЕМ залежить від потужності ВДЕ й важливим є визначення її значення в контексті забезпечення параметрів мережі відповідно нормативних документів, а також участі ВДЕ в плануванні і підтримці балансу потужності та електроенергії в ЕЕС. Запропоновано метод формування оптимального значення потужності ВДЕ, який пристосовано до визначення значень їх потужності і характеру їх зміни за умови, що критерієм оптимальності є втрати електроенергії в мережі. Отримано залежності втрат потужності та електроенергії, що дозволяє прогнозувати їх значення в балансі ЕМ. Розроблено модель компенсації реактивної потужності в ЕМ і запропоновано вдосконалену систему керування інвертором сонячної електростанції (СЕС), що дозволяє встановити залежності для підтримання сталого значення генерованої реактивної потужності з заданим коефіцієнтом потужності. Показано, що використання методів еквівалентування в задачах розрахунку режимів ЕЕС з локальною ЕС

(ЛЕС) передбачає виділення в цій системі окремих підсистем – мереж нижчих класів напруги з ВДЕ, що забезпечить можливість оперативно оцінювати вплив ВДЕ в ЕМ нижчої напруги на параметри ЕЕС, в тому числі на баланс потужності та електроенергії, рівні напруги та втрати електроенергії.

В *третьому розділі* виконано аналіз і оцінювання відповідності параметрів режиму ЕМ різних класів напруги з ВДЕ до їх нормативних значень. Адаптовано інтегральний показник якості функціонування для задач оцінювання рівня енергоефективності ЕМ з ВДЕ, зокрема СЕС і малих ГЕС, що дозволяє сформулювати умови комплексного розв'язання поставленої задачі, яка включає в себе зменшення втрат електроенергії та покращення її якості і підвищення надійності ЕМ, розробити етапність впровадження заходів з підвищення ефективності функціонування ЕМ з ВДЕ. Запропонований у розділі підхід забезпечує контроль обмежень на параметри режиму ЕМ в широкому діапазоні зміни генерування ВДЕ в ЛЕС і враховує перспективу розвитку навантаження шляхом закладання відповідного поетапного нарощування генерування. Ефективність запропонованих у розділі методів апробовано на прикладі розрахунків максимальних та мінімальних режимів підстанції 110/35/10кВ за різних умов генерування СЕС і установки когенерації. За результатами розрахунків визначено можливості діючого електрообладнання щодо зміни параметрів режиму ЕМ в процесі розбудови ВДЕ. Показано, що особливо це стосується трансформаторів підстанції, які мають працювати в реверсивному режимі, що потребує зміни коефіцієнтів трансформації трансформаторів в достатньо широкому діапазоні, а це обумовлює особливі умови до роботи пристроїв РПН. Також у розділі показано, що обов'язковим є узгодження графіків навантаження і генерування ЛЕС з режимами роботи ЕЕС й відмічено, що такі можливості мають бути забезпечені без відхилення параметрів режиму від їх нормативних значень.

В *четвертому розділі* обґрунтовано заходи підвищення енергоефективності РЕМ з ВДЕ. Виконано передпроектні розрахунки з введенням до існуючої електричної схеми «Вінницька птахофабрика» СЕС. Показано, що понаднормове зростання напруги на шинах 10 кВ, до яких планується підключення СЕС, повинно враховуватись під час розроблення проектів тому, що воно може стати причиною недовідпуску електроенергії в наслідок відключення інверторного обладнання. Показано, що введення потужностей СЕС, які визначені за площадками для їх побудови (14 МВт ПС

"Холодівка" та 7 МВт ПС "Олениця"), будуть приводити до понаднормових відхилень напруги в години максимального генерування, що приведе до зростання втрат потужності, які зумовлені зустрічними потоками в години максимального генерування і є припустими. Також в розділі на прикладі Гільжбіївської СЕС і малої ГЕС показано вплив реактивної потужності СЕС на якість напруги. Аналіз результатів розрахунку дозволяє зробити висновок про підвищення енергоефективності внаслідок компенсації перетоків реактивної потужності за рахунок зниження втрат активної потужності. В ході виконаних у розділі розрахунків встановлено, що може мати місце спотворення синусоїди напруги і струму. Тому проведено аналіз можливих рівнів спотворення в розглянутих режимах засобами Matlab Simulink 2018 й показано, що склад гармонік, в основному, визначається гармонічним складом напруги мережі, яка подається на інвертор.

В *додатках* представлено результати розрахунку втрат електричної енергії в ЕМ 35-110 кВ АТ «Вінницяобленерго»; розрахунки режимів ЕМ 110/35/10 кВ АТ «Вінницяобленерго»; довідки про впровадження результатів досліджень; список публікацій за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.

Отже, провівши в процесі роботи над дисертацією наукові дослідження з використанням сучасних методів та технічних засобів, Сікорська О.В. досягла поставленої мети – виконала аналіз і оцінювання впливу відновлюваних джерел енергії на рівень енергоефективності розподільних електричних мереж.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Сікорської О.В. є високою й базується на аналізі інформаційних джерел за даною проблемою, гармонійній постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних методів дослідження, зіставленні і комплексному аналізі отриманих результатів у порівнянні з результатами інших дослідників, у якісному формулюванні отриманих висновків. Дослідження виконано з використанням сучасного математичного й програмного апарату. Отримані результати перевірено використанням інформації з діючих об'єктів, що підтверджує обґрунтованість сформульованих в дисертаційній роботі результатів дослідження, наукових положень, висновків і рекомендацій.

Достовірність результатів дисертаційних досліджень Сікорської О.В. забезпечується коректністю постановок математичних задач, застосуванням процедур і методів математичного апарату теорії подібності

та аналізу чутливості й нелінійного програмування. Усталені режими моделювалися на базі методу вузлових напруг та аналізувалися із застосуванням методів Гаусса та Ньютона. Оцінювання якості функціонування ЕМ здійснювалося з використанням марковських процесів і критеріального моделювання.

Основні результати отримані Сікорською О.В. в дисертаційній роботі, які мають суттєву наукову новизну:

- вперше з використанням математичного моделювання та результатів натурного експерименту показано вплив різних типів відновлюваних джерел енергії на рівень енергоефективності розподільних електричних мереж, що дозволяє сформулювати умови комплексного розв'язання задачі, яка включає в себе зменшення втрат електроенергії, покращення її якості та підвищення надійності і розробити етапність впровадження заходів з підвищення ефективності функціонування електричних мереж 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, використовуючи апарат аналізу чутливості, метод формування заходів зі зменшення втрат в електричних мережах з врахуванням їх впливу на якість напруги в мережах шляхом використання фотоелектричних станцій в режимі компенсації реактивної потужності.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання полягає в тому, що на підставі виконаних досліджень вирішено актуальну науково-прикладну задачу забезпечення енергоефективності та якості електропостачання в РЕМ з ВДЕ. Результати досліджень створюють достатню наукову базу для визначення впливу ВДЕ на якість електропостачання різного рівня локальності, а саме, як окремих споживачів та населених пунктів, так і енергопостачальних компаній в цілому.

Значення результатів для теорії полягає у подальшому розвитку наукового напрямку вдосконалення методу визначення взаємовпливу ЕМ різних класів напруги шляхом врахування режиму роботи ВДЕ в мережах нижчих класів напруги і методу формування заходів зі зменшення втрат в ЕМ з врахуванням їх впливу на якість напруги в мережах.

Результати досліджень мають практичну цінність для фахівців з питань експлуатації РЕМ, а саме: розроблені алгоритми оцінювання ефективності функціонування РЕМ 10(6) кВ дозволяють комплексно оцінювати заходи з підвищення енергоефективності ЕМ з ВДЕ; отримані наукові результати використано під час розроблення рекомендацій щодо техніко-економічних обґрунтувань розвитку відновлюваної енергетики, які прийнято до впровадження у АТ "Вінницяобленерго".

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях. Основні положення та результати дисертаційної роботи Сікорської О.В. опубліковано 17 наукових робіт з них: 1 стаття в журналах, що входять до науково-метричної бази Scopus, 6 у фахових виданнях з переліку ДАК України, 1 публікація у періодичних виданнях ЄС, 1 патент на корисну модель.

Аналіз публікацій дозволяє зробити висновок, що в них в повному об'ємі висвітлені матеріали дисертації. В цілому, рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам МОН України.

Автореферат ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації і достатньо повно відображає основні її наукові результати та практичну цінність роботи, що отримані здобувачем.

Список використаних джерел із 83 найменувань достатньо повний і охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності. В дисертаційній роботі відсутні порушення академічної доброчесності. Використання ідей, результатів та текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

По дисертаційній роботі Сікорської О.В. є наступні зауваження:

1. В першому пункті новизни заявлено, що «...з використанням математичного моделювання та результатів натурного експерименту 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...». Про яку надійність в даному пункті йде мова?

2. Перший розділ трохи переобтяжений деталізацією щодо дослідження впливу ВДЕ на енергоефективність РЕМ, але не достатньо проаналізовані інформаційні джерела за даною проблемою. Слід відмітити, що в роботі має

місце такий аналіз (р.2.1, стор. 63, р.3.1, стор. 89). Вважаю, що цю інформацію доцільніше було б представити в першому розділі, а в послідовуючих зробити посилання на розділ 1.

3. Відомо, що втрати електроенергії залежать нелінійно від перетоків у лініях та трансформаторах мережі. Поясніть, чому Ви у роботі використовували лінеаризовані моделі усталених режимів ЕМ?

4. У р. 2.3 (стор. 80) Ви зазначили, що «...що ОІК доцільно створювати одночасно з засобами інтелектуалізації електричних мереж...» Які засоби інтелектуалізації Ви маєте на увазі? І як вони дозволять покращити енергоефективності РЕМ?

5. Як формується і які складові розрахункової моделі, що входить до блок-схеми алгоритму визначення параметрів поточного режиму ЛЕС з використання натурно-імітаційних моделей ЕМ ВДЕ (рис. 3.1, стор. 91).

6. Розділ 3.4.2 «Техніко-економічне обґрунтування розбудови ВДЕ в електричній мережі з оцінкою відповідності параметрів нормативним значенням» (стор. 106) містить тільки технічне обґрунтування розбудови ВДЕ. Вважаю, що така назва розділу не в повній мірі відповідає його змісту. Економічні показники розглядаються у попередніх розділах 3.2 (стор. 93) і 3.3 (стор. 97). На мою думку, доцільно було б назву розділу 3.4.2 сформулювати більш коректно, наприклад, «3.4.2 Обґрунтування доцільності розбудови ВДЕ в електричній мережі і оцінювання відповідності їх параметрів нормативним значенням».

7. В роботі мають місце термінологічні неузгодження, зокрема в четвертому розділі – сонячна електростанція (СЕС) і фотоелектрична станція (ФЕС). В зв'язку з цим, уточніть, що ж Ви маєте на увазі СЕС чи ФЕС?

8. Щодо загальної оцінки змісту, структури та оформлення результатів роботи. У третьому розділі, а саме у р.3.4.2 зазначено підпункти, які не винесено до змісту (стор. 107, 114). Також у роботі зустрічаються граматичні помилки, не закінчені речення, стилістичні неточності і описки (стор. 15, 81, 91, 96, 97, 106), але кількість їх допустима.

Зазначені недоліки і зауваження не є принциповими і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Сікорської О.В., її наукову новизну і практичну цінність.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Сікорської Олени Вікторівни «Розосереджене генерування в задачах підвищення енергоефективності розподільних електричних мереж» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності

05.14.02– електричні станції, мережі і системи.

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішена актуальна науково-прикладна задача з підвищення енергоефективності електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії, яка відрізняється від відомих застосуванням засобів аналізу чутливості та критеріального моделювання, що у комплексі дозволило підвищити ефективність локальних електричних систем, застосовуючи технічні можливості відновлюваних джерел енергії. Одержані результати мають наукову новизну і практичне значення. За науковим рівнем, практичною цінністю, апробацією та публікаціями дисертаційна робота відповідає вимогам пп. 9, 11, 12 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого постановою КМУ №567 від 24.07.2013 р. (зі змінами, внесеними згідно з Постановами КМУ №656 від 19.08.2015 р №1159 від 30.12.2015 р. та №567 від 27.07.2016 р.), а її авторка – Сікорська Олена Вікторівна, заслуговує присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи.

Офіційний опонент:

доцент кафедри передачі електричної енергії

Національного технічного університету

«Харківський політехнічний інститут»

доктор технічних наук, доцент



Підпис **Вероніка ЧЕРКАШИНА**
 ЗАСВІДЧУЮ:
 ВНЕШНІЙ СЕКРЕТАР
 НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
 «ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
 Заковоротний О.Ю.
 22 04 20 2 р.