

## **РЕЦЕНЗІЯ**

на дисертаційну роботу **ЛИСОГО Владислава Михайловича**  
на тему **«Підвищення енергоефективності відновлюваних джерел енергії в  
балансі електроенергії енергетичних систем»**,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань

14 – Електрична інженерія за спеціальністю

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

### **Актуальність теми дисертації**

Глобальні виклики, пов'язані з кліматичними змінами та енергетичною безпекою, зумовлюють необхідність переходу до використання альтернативних джерел енергії. Процеси декарбонізації, децентралізації енергетичного сектору та переходу до низьковуглецевої моделі економічного розвитку характеризується швидким зростанням частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), насамперед сонячних і вітрових електростанцій, в процесі розвитку електроенергетичних систем. В Україні розвиток відновлюваної енергетики є одним із важливих напрямків енергетичної стратегії держави та важливою складовою забезпечення енергетичної безпеки, особливо в умовах загострення потреб у підвищенні надійності електропостачання та зменшенні залежності від викопних джерел. Разом із тим, нерівномірність генерації ВДЕ впливає на режими роботи електроенергетичних систем, ускладнює процеси оперативного балансування енергетичних потроків та може призводити до зростання втрат активної потужності й електроенергії.

Дисертаційна робота, спрямована на удосконалення методів підвищення енергоефективності ВДЕ в балансі електроенергії шляхом формування методів та алгоритмів по визначенню втрат потужності в електричних мережах, що виникають у результаті експлуатації відновлюваних джерел електроенергії, а також визначення адресності споживаної потужності. Актуальною науковою задачею визначено розроблення методів і математичних моделей визначення перетоків потужності та втрат електроенергії, а також створення алгоритмів оцінювання ефективності функціонування локальних електричних систем та агрегованих груп з інтегрованими ВДЕ і системами акумулювання енергії.

Дослідження за темою дисертаційної роботи Лисого В.М. проводилися згідно з планами наукової діяльності Інституту відновлюваної енергетики НАН України, затвердженими Постановами бюро Відділення енергетики та енергетичних технологій НАН України, а також в межах реалізації проєкту «Відновлювана енергетика для зміцнення інфраструктури України через навчання та проєктування (REBUILD)» (договір з УНТЦ № 7135), що здійснюється за фінансової підтримки Національної академії наук США.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни**

Дисертаційна робота присвячена питанням функціонування відновлювальних джерел енергії в процесі експлуатації електричних мереж, покращенню їх використання шляхом нормування втрат та перетоків

потужності. Предметом дослідження є методи і засоби підвищення енергоефективності ВДЕ в балансі електроенергетичних систем.

Основні положення дисертації, висновки і рекомендації досить обґрунтовані. У дослідженні застосовано широкий комплекс методів: теорії штучних нейронних мереж, нечіткої логіки, статистично-кореляційного аналізу, аналізу чутливості оптимальних рішень, теорії подібності та критеріального підходу. Застосовано методи теорії ймовірностей і нейронечіткого моделювання. Побудова математичних моделей базувалася на використанні апарату матричної алгебри. Наукові положення, висновки та рекомендації, наведені в дисертаційній роботі, ґрунтуються на результатах експериментальних досліджень та їх аналізі. Реалізацію нейро-нечітких моделей виконано із застосуванням сучасного програмного комплексу MATLAB. Вплив ВДЕ на параметри електроенергії в електричній мережі показано на практичному прикладі вузлової схеми IEEE, результати розрахунків підтвердились комп'ютерним моделюванням в програмному комплексі Power Factory.

Наукові положення та висновки, що містяться в дисертаційній роботі, є теоретично обґрунтованими і апробованими на міжнародних наукових конференціях і семінарах.

**Наукова новизна** отриманих результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

- вперше розроблено метод розрахунку втрат електроенергії, спричинених генеруванням ВДЕ у складі агрегованих балансуючих груп, у формі матриці коефіцієнтів розподілу втрат потужності у вітках схеми, що дозволяє враховувати їх вплив на параметри електричної мережі та використовувати отримані результати для прогнозованої роботи на енергоринку, підвищуючи ефективність участі агрегованих груп в енергетичних аукціонах;

- вдосконалено метод трасування потоків електроенергії від відновлюваних джерел у складі агрегованих балансуючих груп через мережі загального користування, який, на відміну від існуючих підходів, дозволяє визначати частку потужності кожного джерела у перетоках по лініях електропередачі та кількісно оцінювати пов'язані наслідки, що створює аналітичну основу для формування адресної відповідальності та врегулювання взаємовідносин між агрегатором та учасниками агрегованої групи;

- розвинуто метод формування інтелектуальних систем керування режимами ВДЕ за типом мікромереж, що дозволяє більш раціонально використовувати їх ресурси, ефективно взаємодіяти з розподільною мережею і задіяти можливості активних споживачів електроенергії в процесі балансування режиму енергосистеми таким чином, щоб інтелектуальна система могла під час обмежень не втрачати відновлювану енергію, а в повній мірі використати їх переваги разом з системами зберігання енергії для надійного електропостачання.

Можна зазначити, що в дисертаційній роботі Лисого В.М. поставлене наукове завдання виконано, а здобувач оволодів методологією наукових досліджень.

**Наукова цінність** дисертаційної роботи полягає у створенні сучасного методичного підґрунтя для підвищення ефективності інтеграції відновлюваних джерел енергії до електроенергетичних систем. Запропоновані автором наукові рішення враховують сучасні тенденції розвитку Smart Grid, агрегованих

балансуючих груп, активних споживачів та локальних електроенергетичних систем, що істотно розширює можливості аналізу режимів роботи ВДЕ.

Результати дисертаційного дослідження мають **практичну цінність** та можуть бути безпосередньо використані в різних сферах енергетики України.

Розроблено метод і математичну модель визначення гарантованих обсягів виробництва електричної енергії в локальній електроенергетичній системі (мікромережі) з використанням відновлюваних джерел енергії, які забезпечують більш достовірну оцінку приросту електроспоживання конкретного споживача з ВДЕ. Запропонований підхід інтегрує механізми балансування потужності та енергії в межах мікромережі, а також передбачає можливість агрегації розподілених джерел генерації та споживачів в єдину керовану групу, що дозволяє підвищити точність прогнозування небалансів, оптимізувати участь у ринкових процедурах та забезпечити узгоджене управління режимами роботи.

Запропоновано методи визначення впливу окремих відновлюваних джерел енергії на втрати активної потужності та оцінювання витрат на їх резервування, які враховують режимні умови балансування потужності й енергії та взаємодію агрегованих ресурсів. Розроблені методи реалізовано у вигляді алгоритмів, придатних для інтеграції в системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень диспетчерів агрегаторів і операторів систем розподілу електроенергії, що дозволяє обґрунтовано формувати агреговані портфелі ВДЕ, оптимізувати стратегії резервування, мінімізувати небаланси та підвищувати ефективність участі в ринкових механізмах балансування.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи підтверджується їх впровадженням у діяльність ТОВ «НЕСС ПВ» для проєктування і модернізації об'єктів відновлюваної енергетики. Окремі результати роботи також впроваджено у навчальний процес Вінницького національного технічного університету при підготовці фахівців електроенергетичного профілю.

### **Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Владислава Лисого повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка відповідно освітньої програми ІВЕ НАН України.

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку джерел і додатків. Основний зміст викладений на 138 сторінках друкованого тексту, загальний обсяг дисертації 179 сторінок, що містять 37 рисунків, 3 таблиці та 4 додатки. Список використаної літератури налічує 120 найменувань.

У вступі обґрунтовується актуальність теми, визначаються мета та завдання дослідження, зв'язок з науковими програмами, підкреслюються наукова новизна й практичне значення роботи.

Перший розділ містить аналіз стану та тенденцій розвитку, а також особливостей функціонування ВДЕ в Україні і світі, їх вплив на баланс електроенергії в електроенергетичних системах (ЕЕС), існуючі методи балансування та прогнозування генерації ВДЕ. За результатами аналізу сформульовано задачі наукового дослідження.

Другий розділ присвячено оцінюванню факторів, які впливають на енерго-ефективність ВДЕ під час балансування режимів ЕЕС. Застосовано традиційні показники надійності типу SAIDI та SAIFI. Виконано оцінювання маневрової потужності як засобу балансування режимів ЕЕС; досліджено вплив агрегації, децентралізації та комерціалізації як нових умов процесу балансування.

Третій розділ присвячено дослідженню методів і розробленню моделей для підвищення точності виконання графіків генерування ВДЕ в енергосистемі. Запропоновано макромодельовання систем електропостачання, визначення втрат потужності в електричій мережі та джерел походження електроенергії для споживачів. У результаті виконаних досліджень сформовано комплексний підхід до підвищення ефективності функціонування локальних електроенергетичних систем з ВДЕ, удосконалено метод трасування потоків електроенергії та втрат, розроблено математичне забезпечення визначення гарантованого походження електроенергії.

Четвертий розділ присвячений практичній реалізації запропонованих методів. Задача балансування потужності та електроенергії в локальних енергетичних системах розглядається на різних рівнях, розглянуто формування окремих балансуючих груп. Аргументовано впровадження автоматизованих системи комерційного обліку електроенергії та прогнозування графіків генерації. Розглянуто реальні профілі генерації та навантаження на кількох діючих об'єктах, верифіковано розрахункові показники. Апробація запропонованого підходу на практичних прикладах підтвердила його ефективність і точність, підсилюючи наукову достовірність роботи.

У висновках висвітлено основні результати дослідження. Вони узгоджуються зі змістом роботи, відповідають поставленим завданням та підтверджують досягнення мети дисертаційного дослідження.

### **Відповідність вимогам МОН України**

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковій галузі електричної інженерії. Розділи дисертації логічно пов'язані між собою і є цілісним дослідженням. Робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Лисого В.М. є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Порушення принципів академічної доброчесності не виявлено.

Дисертаційна робота написана українською мовою. Етапи дослідження, виконані відповідно до загальної тематики роботи, є логічними та викладені в зрозумілій та доступній формі. Текст роботи викладено науковим стилем мовлення, технічно грамотно, і використана переважно загальноприйнята термінологія. Для іншомовних термінів, які не мають усталених відповідників, додано оригінальні назви.

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи**

Наукові результати дисертаційної роботи відображені у 15 наукових публікаціях. Серед них – колективна монографія, 6 статей у наукових фахових виданнях, що включені до списку ДАК України (4 з них проіндексовані в базі даних Scopus), а також 7 публікацій тез у 6-ти збірниках матеріалів міжнародних конференцій. Монографія індексована базою Scopus. Також за результатами роботи отримано авторство на науковий твір.

Аналіз цієї публікаційної бази засвідчує, що здобувач повною мірою відобразив основні положення та результати свого дисертаційного дослідження, забезпечивши їх наукову апробацію на належному рівні.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи**

Зауваження рецензента стосуються головним чином якості подання матеріалу.

1. У роботі досить повно досліджувались питання щодо функціонування агрегованих балансуючих груп; разом з тим становило б інтерес більш детальне порівняння запропонованих методів із сучасними європейськими підходами на ринках електроенергії.

2. Незважаючи на загалом виважену термінологію, існують певні недоліки: наприклад, в переліку позначень ВЕС трактовано як вітроелектричну станцію, однак далі (напр. п. 2.3) через ВЕС позначено віртуальну електростанцію, щодо якої існує усталений англomовний термін VPP - virtual power plant; в р.3.1 позначено СЕС як системи електропостачання, хоча загальноновживано це сонячна електростанція; щодо засобів зберігання енергії унормовано термін УЗЕ, якого нема в переліку позначень.

3. Є певні помилки (скоріше опечатки) в написанні формул. Наприклад, у формулі авторегресії (3.2) попередні значення мають бути зі змінним лагом (в даному прикладі  $X_{t-i}$ ); у формулі (3.3) не пояснено зміст параметра  $d$ ; в (3.25) вжито  $\gg$  замість  $=$ ; при записі формул у р.3 та р.4 використано різні графічні редактори та розміри символів.

4. Окремі рисунки, що відображають результати математичного моделювання, могли б містити більш детальні пояснення до наведених позначень, що покращило б їх сприйняття читачем.

5. Викладення матеріалу загалом чітко та стилістично виважене, проте присутня певна кількість орфографічних та лексичних помилок, пунктуації, наприклад: часто вжито термін «відновлювальні» замість «відновлювані» (навіть в ключових словах), не завжди узгоджені відмінки, і ін. В даному випадку це не вплинуло на розуміння тексту.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними, не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість отриманих результатів і не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Висновок про дисертаційну роботу**

Проведений аналіз дисертаційної роботи та наукових публікацій свідчить про те, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Лисого Владислава Михайловича на тему «Підвищення енергоефективності відновлюваних джерел енергії в балансі електроенергії енергетичних систем»

виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність отриманих теоретичних і практичних результатів якого спрямована на розв'язання актуального наукового завдання, що має істотне значення для галузі електричної інженерії загалом та відновлюваної енергетики зокрема.

Вважаю, що дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в пп. 6-9 «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 12.01.2022р. № 44, а її автор, Лисий Владислав Михайлович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 – Електрична інженерія за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

**Офіційний рецензент:**

заступник директора з наукової роботи

Інституту відновлюваної енергетики НАН України,

член-кореспондент НАН України, д.т.н.

«26» 08 2026 р.



Микола КУЗНЕЦОВ