

## ВІДГУК

офіційного опонента П.Ф. Васька на дисертаційну роботу Лисенко Ольги Валеріївни «**Наукові основи підвищення енергетичної ефективності та якості електропостачання в електротехнічних системах з комбінованою генерацією**», поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.03 - електротехнічні комплекси та системи.

**1. Актуальність теми дисертації.** Обрана тема дисертації відповідає нинішнім пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки в Україні стосовно всебічного використання енергії відновлюваних джерел, зокрема енергії вітру та сонячного випромінювання. Згідно з розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р «Енергетична стратегія України на період до 2035 року» очікується зростання відновлюваних джерел енергії до 25% в загальній електроенергетиці України. За даними «Укренерго» станом на 1 січня 2020 встановлена потужність вітроенергетики знаходиться на рівні 1037 МВт, сонячної електроенергетики – 3793 МВт, що разом складає біля 17% максимального навантаження електроенергетичної системи на чинний момент часу. Інтегрування зазначених обсягів відновлюваної енергетики в діючі електроенергетичні системи потребує вирішення складних технологічних і організаційних завдань, зумовлених стохастичним характером знаходження первинної енергії.

Практичне вирішення задач забезпечення енергобалансу в енергосистемах неможливе без урахування випадкового характеру як споживання енергії, так і її генерування. Для збалансованої роботи енергосистем різного рівня локальності з комбінованою генерацією необхідно мати інструментарій щодо визначення відхилення генерованої та спожитої потужності від запланованого графіка. Визначення доцільних рівнів використання вітроелектростанцій (ВЕС) та сонячних електростанцій (СЕС) важливо для операторів енергосистеми, виробників та споживачів електроенергії.

Дисертаційна робота О.В. Лисенко присвячена розробці основних теоретичних положень розрахунку балансів потужності та їх довірчих інтервалів для електротехнічних систем з інтеграцією вітро-сонячної електрогенерації та засобів її акумулювання з урахуванням випадкових чинників споживання та генерування електроенергії.

**2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами.** Дисертація виконувалась згідно плану наукових досліджень Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного за держбюджетною темою «Автоматизація електротехнічних систем в АПК» (ДР № 0116U002728)



та відповідно до договору про спільну діяльність між ТДАТУ і Інститутом відновлюваної енергетики НАН України згідно науково-дослідним роботам з шифром «Комплекс-3» (ДР № 0118U003385) і «Комплекс-М» (ДР № 0117U000703).

### **3. Наукова новизна отриманих результатів:**

- встановлено незалежність швидкоплинних змін поточних потужностей генерації сонячної і вітрової енергії та споживання електроенергії електротехнічними системами різного рівня локальності, що дозволило побудувати математичну модель процесу балансування потужностей на основі аналізу випадкових процесів;

- розроблено нову математичну модель забезпечення енергобалансу комбінованих електротехнічних систем з відновлюваними джерелами електроенергії на основі застосування методу декомпозиції для урахуванням дискретної та неперервної складових випадкових процесів зміни потужності генерації та споживання;

- розроблено новий метод розрахунку обсягів резервних та акумулювальних потужностей для електротехнічних систем з комбінованою генерацією різного рівня локальності з урахуванням випадкових флуктуацій поточного балансу генерації та споживання електроенергії, що дозволило визначити задану довірчу імовірність потреби в акумулюванні енергії;

- сформульовано та формалізовано особливості стохастичної оптимізації енергосистем, які відрізняються комбінованим застосуванням різних типів відновлюваних та традиційних джерел енергії, що дозволило дослідити оптимальні розв'язки при уживаних обмеженнях задач оптимізації;

- набув подальшого розвитку метод багатокритеріальної оптимізації комбінованих енергосистем різного рівня локальності на основі застосуванням стохастичної оптимізації складу потужностей відновлюваних джерел енергії, що забезпечує досягнення мінімізації небалансів потужностей при заданих обмеженнях показників надійності.

### **4. Обґрунтованість і достовірність наукових положень і результатів.**

Методи дослідження відповідають поставленим задачам і забезпечують достатньо ефективно їх розв'язання та досягнення сформульованої мети роботи. Достовірність результатів забезпечена коректним використанням математичного апарату і прийнятих припущень, а також прийнятною збіжністю результатів аналітичних, числових і експериментальних досліджень. Первинні дані отримано з сертифікованих систем збору та накопичення інформації введених в експлуатацію вітчизняних потужних ВЕС та СЕС.



Наведені аргументи дозволяють визнати достовірними наукові результати, основні положення та висновки дисертації.

#### **5. Наукове значення та практична цінність.**

*Значення для науки* полягає в розробленні нових математичних методів та моделей для визначення впливу мінливої генерації ВЕС та СЕС на якість електропостачання в електроенергетичних системах різного рівня локальності.

*Практична цінність роботи.* Розроблені математичні моделі та методи дозволяють з заданою імовірністю визначити реальну участь ВЕС та СЕС в забезпеченні потреб електросистеми. Оцінка впливу вітрової та сонячної енергетики на забезпечення енергобалансу потрібна для визначення необхідного обсягу резервних та акумулявальних потужностей.

Запропоновані підходи до аналізу роботи електротехнічних систем із комбінованою генерацією на базі відновлюваних джерел енергії дозволяють забезпечити мінімізацію небалансів потужності при дотриманні наперед заданих вимог до надійності енергопостачання та можуть бути використані організаціями, що опікуються впровадженням ВДЕ, а також учбовими закладами в якості навчального матеріалу при підготовці фахівців у галузі електроенергетики.

Результати дисертаційної роботи отримали підтримку таких підприємств та організацій як: Мелітопольська районна рада Запорізької області, Мелітопольські високовольтні електромережі ПАТ «Запоріжжяобленерго», Запорізька обласна державна адміністрація, Інститут відновлювальної енергетики НАН України, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Практичну цінність роботи підтверджують також акти впровадження та використання результатів, які наведено в додатку до дисертації.

**6. Повнота опублікування результатів.** Матеріали дисертаційної роботи опубліковані у 32 друкованих наукових працях, з них 1 монографія, 18 статей у наукових фахових виданнях України та 5 статей у періодичних виданнях іноземних держав, що входять до міжнародних наукометричних баз Web of Science та Index Copernicus, 8 публікацій у збірниках матеріалів та тез наукових конференцій.

**7. Результати досліджень захищеної кандидатської дисертації здобувача** в 2006 році в Харківському національному університеті радіоелектроніки за спеціальністю 05.11.17 ( біологічні та медичні прилади і системи) на тему «Оптико-електронна система оцінки життєздатності ембріонів тварин» не виносяться на захист докторської дисертації.



**8. Зміст та обсяг дисертації.** Робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел (226 найменувань) і двох додатків. Основний зміст викладений на 311 сторінках друкованого тексту, містить 101 рисунки, 95 таблиць. Загальний обсяг дисертації – 365 сторінок.

Дисертація написана на хорошому науковому рівні, матеріал дисертації систематизований та структурований по розділах та параграфах у логічній послідовності.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета і задачі наукового дослідження, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, викладено наукову новизну і практичне значення результатів досліджень, визначено особистий внесок здобувача, наведені дані про апробацію результатів роботи та публікації.

У *першому розділі* проведено аналіз виконаних досліджень в галузі вітрової та сонячної енергетики за даною проблемою, розглянуто існуючі підходи забезпечення споживачів електричною енергією в електротехнічних системах з комбінованою генерацією, визначено фактори впливу ВДЕ на роботу енергосистеми.

У *другому розділі* виконано статистичний аналіз фактичних метеоданих та розроблено математичні моделі визначення поточної потужності ВЕС та СЕС в південно-східному регіоні країни, проведено перевірку адекватності моделей за результатами експлуатації промислових ВЕС та СЕС, розташованих в даному регіоні.

У *третьому розділі* розроблено математичну модель зміни навантаження регіональної електроенергетичної системи для різних груп споживачів на основі теоретичних положень стохастичних процесів. На підставі дослідження кореляції змін поточних потужностей генерації сонячної і вітрової енергії та споживання електроенергії електротехнічними системами різного рівня локальності встановлено взаємну незалежність швидкоплинних змін цих потужностей як випадкових процесів, та отримано адекватну математичну модель процесу балансування потужностей.

У *четвертому розділі* запропоновано критерії та обмеження, щодо оптимізації функціонування вітро-сонячної генерації, окреслено коло питань, що потребують вирішення методами оптимізації. Сформульовано особливості стохастичної оптимізації енергосистем з комбінованим застосуванням різних типів відновлюваних і традиційних джерел енергії та досліджено оптимальні розв'язки розглянутих задач оптимізації при уживаних обмеженнях.

У *п'ятому розділі* розглянуто методологію та приклади розрахунку показників балансової надійності і їх довірчих інтервалів для локальних



електротехнічних систем з комбінованою генерацією. Виконано оптимальне комбінування ВЕС та СЕС за умови мінімізації неконтрольованого розкиду значень генерованої потужності при максимізації виробленої енергії. Проведено аналіз сумісних коливань рівнів генерування і споживання електричної енергії та визначено показники балансової надійності із заданою довірчою ймовірністю.

У шостому розділі розроблено метод розрахунку обсягів резервних та акумулювальних потужностей для електротехнічних систем з комбінованою генерацією різного рівня локальності з урахуванням випадкових флуктуацій поточного балансу генерації та споживання електроенергії, що дозволило визначити потреби в акумулюванні енергії із заданою довірчою ймовірністю. Наведено приклади оптимізації енергосистеми з ВДЕ за техніко-економічними показниками.

У висновках узагальнено основні наукові та практичні результати дисертаційного дослідження.

**9. Відповідність змісту дисертації встановленим вимогам.** Зміст дисертації О.В. Лисенко відповідає спеціальності 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи. Основні положення автореферату відображають зміст дисертаційної роботи і мають з нею повну ідентичність. За структурою та обсягом дисертація і автореферат відповідають вимогам, що пред'являються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

#### **10. Зауваження щодо змісту та оформлення дисертації.**

1. В процесі досліджень використовувались статистичні показники функціонування енергосистем без наявності в їх складі вітрових та сонячних електростанцій. Тому не було враховано зміни внутрішніх параметрів системи в результаті ввімкнення нових станцій значної потужності і технічні можливості такого ввімкнення. Також не враховувались обмеження на величину потужності ВДЕ за умовами стійкості і додаткових витрат в традиційній частині системи для компенсації коливань генерованої потужності, обмеження на зміну структури системи.

2. В роботі запропоновано групу критеріїв оптимальності складу енергосистеми (розд.1), однак практично розглядалась лише мінімізація небалансу потужності та відповідних втрат енергії; оцінка економічної ефективності (розд.6) також базувалась на зменшенні варіативної складової небалансу. В якості методу рішення задачі оптимізації застосовано лише побудову поверхні відгуку при імітаційному моделюванні.

3. Для математичного моделювання процесів генерації вітровими, сонячними електростанціями та споживання електроенергії застосовано



однакове представлення випадковими функціями (формули 2.11, 4.19), хоча ці процеси істотно різні за своєю природою.

4. Моделювання стохастичної поведінки процесів генерації та споживання електроенергії виконується за допомогою диференційного стохастичного рівняння одного типу (формула 3.25 та 2.13, 3.24 як розв'язки), без порівняння його переваг стосовно інших можливих представлень.

5. При моделюванні поточної потужності ВДЕ випадковими функціями пропонується визначати показники енергетичної ефективності (розд.4) з використанням функції диференційної щільності розподілу. Пояснення та рекомендації стосовно визначення функції диференційної щільності розподілу швидкості вітру чи сонячного випромінювання на довільному інтервалі часу (протягом доби, тижня, місяця, року) в роботі не наведені, тому отримання конкретних кількісних результатів (формули 4.10-4.16) є проблематичним.

6. Остаточні числові результати розділів 4,5,6 наведені за відсутності необхідної вихідної інформації, що унеможливує сторонню перевірку адекватності розроблених моделей і змушує безапеляційно сприймати отримані результати.

7. Методологія досліджень розділів 4,5,6 основана на припущенні про наявність в складі електроенергетичної системи контрольованих (традиційних) джерел енергії, плановий графік роботи яких відповідає середньому рівню споживання та додаткової генерації ВЕС і СЕС (див. стор. 216). Тому вона прийнятна лише для початкового етапу інтеграції ВДЕ в електроенергетичні системи та комплекси.

8. Основні зауваження до оформлення матеріалів дисертаційної роботи.

8.1 В першому пункті загальних висновків по роботі задекларовано тривіальні положення, що були відомі до проведення дисертаційного дослідження.

8.2 Використано довільне застосування термінів «електротехнічна» та «електроенергетична» система без зазначення і урахування їх особливостей функціонування.

8.3 Наявна незначна кількість описок та помилок: описка в назві п.4.1 у змісті (стор.33) та в тексті роботи (стор.202); описка в табл.2.20 при позначенні вагового коефіцієнта  $\alpha_1$ ; незрозуміле позначення ординати на рис.2.2; недотримання правил пунктуації (стор.128); невдалий вибір масштабів абсцис при співставленні співрозмірних значень величин на рис.2.7, 2.11, 2.12, 2.16; неправильне позначення розмірності обсягу електроенергії на стор.293-297.


*Зазначені вище зауваження мають дискусійний характер і не впливають на загальний позитивний висновок про роботу.*

**11. Висновок.** Дисертаційна робота Лисенко Ольги Валеріївни на тему «Наукові основи підвищення енергетичної ефективності та якості електропостачання в електротехнічних системах з комбінованою генерацією» є завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково обгрунтовані теоретичні і експериментальні результати стосовно визначення балансової надійності потужності таких систем, що в сукупності є значним досягненням для вирішення науково-технічної проблеми інтеграції відновлюваних джерел енергії в електроенергетичні системи.

За актуальністю обраної теми, обсягом та рівнем виконаних досліджень, повнотою вирішення наукових і практичних задач, новизною і ступенем обгрунтованості отриманих результатів та практичних висновків дисертаційна робота відповідає вимогам, які ставляться до докторських дисертацій, а за змістом поданого в ній матеріалу відповідає паспорту спеціальності 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи.

Представлена дисертаційна робота відповідає вимогам МОН України, які ставляться до робіт на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, і пп. 9,10,12 Порядку присудження наукових ступенів, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 року № 567, а її авторка Лисенко Ольга Валеріївна заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.03 - електротехнічні комплекси та системи.

Офіційний опонент  
завідувач відділом гідроенергетики  
Інституту відновлюваної енергетики  
Національної академії наук України,  
доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник

  
П.Ф. Васько  
20.10.2020р.

Підпис д-ра техн. наук, с.н.с. П.Ф. Васька засвідчую.  
Вчений секретар  
Інституту відновлюваної енергетики,  
канд. техн. наук



Т.В. Суржик