

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
на дисертаційну роботу

Хомяка Андрія Олеговича

на тему **«Інтелектуальна система регулювання режимів роботи сонячної електростанції»**, подану на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 14 Електрична інженерія
за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Актуальність теми дисертації.

Дисертаційне дослідження присвячено вирішенню важливого науково-прикладного завдання підвищення ефективності роботи енергетичної системи України, до складу якої входять відновлювані джерела енергії (ВДЕ), шляхом розроблення моделей і методів моніторингу, прогнозування та контролю роботи сонячних електростанцій (СЕС) із застосуванням елементів штучного інтелекту. Існує кілька об'єктивних факторів, що ускладнюють широке використання ВДЕ, зокрема СЕС, в об'єднаній енергетичній системі. Основними із них є негарантована потужність та проблеми, пов'язані зі стабілізацією частоти в енергосистемі, де вони функціонують. Автором досліджуються різні режими роботи СЕС та їх вплив на мережу, зокрема запропоновано нові алгоритми та методи моніторингу й прогнозування сонячної генерації. Це дозволяє визначити умови ефективної та стійкої роботи СЕС в об'єднаній енергосистемі України.

Результати дисертаційного дослідження можуть знайти широке застосування як серед операторів системи передачі в Україні, так й серед операторів системи передачі ENTSO-E. Впровадження результатів цього дослідження сприятиме зменшенню витрат на балансування енергосистеми та збільшення її стійкої роботи.

Таким чином, дане дисертаційне дослідження є актуальним.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

До основних наукових результатів дисертації можна віднести такі:

1. Автором запропоновано метод реагування на зміну величини генерації електричної енергії сонячними електростанціями на основі короткочасного прогнозування з використанням нейронних мереж, що дозволить змінити підхід до балансування енергосистеми та здешевити процес за рахунок активації більш повільних, проте дешевших резервів відновлення частоти.

2. Розвинуто метод рангових коефіцієнтів узгодженості та запропоновано критерії до багатокритеріального аналізу ефективності роботи електростанцій, що дозволило збільшити швидкість реагування диспетчерського персоналу оператора системи передачі на відхилення в енергосистемі за рахунок ранжування сонячних електростанцій за ефективністю їх роботи та впливом на енергосистему.

3. Створено новий метод активації допоміжних послуг для компенсації небалансів в енергосистемі, що дає змогу більш дешево компенсувати небаланси в енергосистемі за рахунок короткочасного прогнозування зміни величини генерації електричної енергії на сонячних електростанціях.

До практичних результатів роботи слід віднести створення нейронної мережі для розпізнавання образів Сонця і хмар на небі та аналізу траєкторії їх руху, що дозволило отримувати прогнозні значення генерації електричної енергії на сонячних електростанціях в режимі реального часу та горизонтом прогнозування в 15 хвилин за рахунок використання згорткових нейронних мереж в середовищі програмування Python; створення інтелектуальної системи на базі нейронної мережі для аналізу положення Сонця і хмар, та подальшого прогнозування траєкторії їх руху. Метод рангових коефіцієнтів узгодженості та багатокритеріальний алгоритм аналізу ефективності вже знайшов своє застосування в роботі НЕК «Укренерго».

Основні наукові результати Хомяка А.О. достатньою обґрунтовані, а їхня достовірність не викликає сумнівів. Автор дисертації зрозуміло окреслив мету роботи, логічно сформулював завдання дослідження та шляхи і методи їхнього виконання. Достовірність практичної частини дисертації підтверджена відповідним актом впровадження.

Апробація основних наукових положень та прикладних аспектів дисертаційної роботи Хомяка А.О. виконана шляхом доповідей та обговорень на низці міжнародних та вітчизняних науково-технічних конференцій.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано в повному обсязі, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

Дисертаційна робота написана українською мовою. Викладення матеріалу можливо охарактеризувати логічністю подання на змістовному та фактологічному рівнях.

Дисертація складається із анотації, змісту, переліку умовних позначень, основної частини, висновків, списку використаних джерел, що налічує 122 найменування та 4 додатків. Загальний обсяг дисертації 249 сторінок.

У першому розділі розглянуто проблематику керування енергосистемою України, вплив відновлювальних джерел енергії на стійкість та складність прогнозування розвитку енергосистеми. Розглянуто окремі положення та вимоги європейського законодавства в рамках його імплементації в українське, проаналізовано Енергетичну стратегію до 2050 року.

У другому розділі розглянуто проблему сонячних електростанцій щодо швидкості зміни генерації електричної енергії, яка посідає високе місце серед ризиків для енергосистеми, після проблеми зменшення інерційності енергосистеми та зменшення обертових резервів. Автором детально проаналізовано режим роботи сонячної електростанції за період з 01.10.2022 року по 27.09.2023 рік. На основі даних була створена матриця відносних значень для побудови тривимірного графіку, що відображає величину генерації електричної енергії на сонячній електростанції усереднену на 15-хвилинному інтервалі відносно максимального значення генерації електричної енергії.

У третьому розділі запропоновано модернізацію сонячних електростанцій за рахунок встановлення установок зберігання енергії, Grid-Forming інверторів та впровадження короткострокового прогнозування на основі штучного інтелекту. Автором розроблено нейронну мережу для аналізу положення хмар і Сонця на небі, що дозволить операторам системи розподілу і оператору системи передачі отримувати достовірну прогнозну інформацію по зміні величини генерації електричної енергії на сонячній електростанції в короткостроковій перспективі. Розпізнавання хмар реалізовано за допомогою згорткової нейронної мережі на Python.

У четвертому розділі описано запропонований метод рангових коефіцієнтів узгодженості і параметри для багатокритеріального алгоритму аналізу ефективності роботи сонячних електростанцій. Впровадження таких методів і алгоритмів дозволить диспетчерам оператора системи передачі в реальному часі відслідковувати сонячні електростанції, що найбільше впливають на стійкість енергосистеми. Проаналізовано ціни, що склались на ринку допоміжних послуг в різних країнах Європи для резерву підтримки частоти та ціни на ринку на добу наперед, показано їх залежність від суттєвих відмінностей у територіальному розташуванні, ситуації в енергосистемі, доступу до альтернативних джерел енергії, різного рівня пропрацьованості національного законодавства, забезпеченості резервами та конкуренцію на ринку електричної енергії.

У додатках наведені таблиці з вихідними даними та неосновними розрахунками, а також акт впровадження в робочий процес НЕК «Укренерго» окремих результатів дисертаційної роботи.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Хомяка А.О. повністю відповідає спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та

електромеханіка та напрямам досліджень відповідно до галузі знань 14 Електрична інженерія.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Хомяка А.О. 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.

Дисертаційна робота в більшій мірі оформлена відповідно вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та містить всі необхідні структурні елементи відповідно до розділу II цього ж наказу. Висновки у розділах, а також загальні висновки відповідають отриманим у дисертації науковим і практичним результатам.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

За темою дисертації опубліковано 7 наукових праць, серед яких: 3 статті у періодичних фахових виданнях України, 4 матеріали та тези за результатами міжнародних та вітчизняних науково-практичних конференцій.

Публікації здобувача виконані на високому науковому рівні, фактів порушення принципів академічної доброчесності не виявлено.

Таким чином, основні наукові результати, описані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Третій пункт наукової новизни стосується практичної значимості роботи і у поданому вигляді не містить ознак наукової новизни. Натомість аспект висвітлений у практичній значимості роботи, що стосується створення методу активації допоміжних послуг для компенсації небалансів в енергосистемі в умовах зміни величини генерації електричної енергії на сонячних електростанціях, має елементи наукової новизни.
2. Автором пропонується змінити підхід до балансування енергосистеми та здешевити процес за рахунок активації більш повільних, проте дешевших резервів відновлення частоти, в той же час пропонується з метою підтримки частоти, резервів відновлення частоти і резервів заміщення, які необхідні для забезпечення стабільної та безперебійної роботи енергосистеми, застосовувати системи накопичення енергії та Grid-Forming інвертори, що в свою чергу суперечить заявленій опції здешевлення процесу. Тож, залишилося незрозумілим, які саме шляхи

здешевлення процесу балансування енергосистеми пропонуються в роботі.

3. Застосування штучного інтелекту в роботі операторів системи розподілу вимагатиме залучення значних обчислювальних потужностей, що може бути перешкодою до впровадження запропонованої автором ідеї.
4. У тексті дисертації зустрічаються стилістичні та граматичні помилки, зокрема, відсутні посилання на ряд рисунків та таблиць; запис формул необхідно подавати у математичному форматі.

Наведені вище зауваження та побажання жодним чином не впливають на загальне позитивне враження від дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота Хомяка Андрія Олеговича на тему «Інтелектуальна система регулювання режимів роботи сонячної електростанції» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує науково-практичне завдання з підвищення ефективності застосування резервів енергосистеми для компенсації небалансів, що виникають при зміні навантаження на сонячних електростанціях, що має істотне значення для галузі знань 14 Електрична інженерія, відповідає вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, зі змінами), а її автор Хомяк Андрій Олегович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Офіційний опонент:

Заступник директора з наукової роботи
Інституту загальної енергетики
Національної академії наук України
доктор технічних наук,
старший дослідник



Світлана КОВТУН

«06» червня 2025 року