

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Петренко Катерини Володимирівни

«Технічний потенціал використання енергії вітру вітроелектричними станціями в кліматичних умовах України», що подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Актуальність теми дисертації.

В умовах реалізації Енергетичної стратегії України до 2035 року, зобов'язань у межах Паризької кліматичної угоди та курсу на інтеграцію до європейського енергетичного простору, розвиток вітроенергетики є одним із ключових напрямів декарбонізації економіки та зміцнення енергетичної безпеки держави. Водночас, наявні методи оцінки вітроенергетичного потенціалу в Україні здебільшого базуються на кліматичних даних глобальних моделей, які не враховують локальні природно-кліматичні умови. Це ускладнює стратегічне планування, вибір оптимальних локацій для розміщення вітроелектричних станцій та підготовку інвестиційних проєктів.

Дисертаційна робота Петренко К.В. присвячена вирішенню актуальної науково задачі – удосконаленню методів оцінювання технічного потенціалу вітроенергетичних ресурсів України з урахуванням регіональних кліматичних, орографічних, нормативно-правових та геопросторових особливостей. Запропонований у роботі адаптивний метод, що ґрунтується на використанні геоінформаційних систем, довготривалих рядів даних спостережень за швидкістю та напрямком вітру із мережі попередньо валідованих метеостанцій України, дає змогу коригувати ключові технічні параметри залежно від регіональних особливостей вітрового режиму та ландшафту.

Таким чином, дисертаційна робота Петренко К.В. є своєчасним, науково обґрунтованим і практично значущим дослідженням, яке відповідає сучасним потребам енергетичної галузі України та сприятиме реалізації державної політики у сфері розвитку відновлюваних джерел енергії. Про актуальність роботи також свідчить її зв'язок з державними програмами, планами і темами. Наукові дослідження за темою дисертації здійснювалися відповідно до планів науково-дослідних робіт Інституту відновлюваної енергетики, затверджених Постановами бюро Відділення фізико-технічних проблем енергетики НАН України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами.

Тематика та розділи цієї дисертації входили до складу наукових робіт, які були виконані в Інституті відновлюваної енергетики Національної академії наук України за пріоритетним напрямом розвитку науки і техніки України:

«Комплексні системи енергозабезпечення автономних об'єктів на базі використання відновлюваних джерел енергії» (номер державної реєстрації ДР №0117U004325), «Розроблення та удосконалення математичних моделей і методів прогнозування енергетичних параметрів вітру та режимів функціонування вітроелектростанцій і вітроелектричних автономних систем малої потужності» (номер державної реєстрації ДР №0118U003384), «Розробити наукові засади багатофакторного кадастру інформації для оптимізації розміщення в Україні підприємств вітроводневої енергетики» (номер державної реєстрації ДР №0123U100946), «Розробити методи аналізу динаміки процесів перетворення енергії Сонця, вітру, малих річок, геотермальних і біоенергетичних ресурсів» (номер державної реєстрації ДР №0117U002420).

Новизна представлених теоретичних та/або експериментальних результатів проведених здобувачем досліджень.

Результати отримані в процесі дисертаційного дослідження несуть таку наукову новизну:

1. Вперше проведено валідацію даних метеостанцій України щодо однорідності та репрезентативності рядів швидкості та напрямку вітру, що дало змогу сформувавши репрезентативну базу строкових даних для оцінки технічного потенціалу вітроенергетичних ресурсів суходолу України.

2. Вперше визначено похибку даних реаналізу для мережі валідних метеостанцій та встановлено її залежність від фізико-географічних умов, що стало підставою для використання даних реаналізу при формуванні бази даних вітрових характеристик акваторії України.

3. Вперше сформульовано критерії доступності та придатності територій для будівництва ВЕС, що поєднують технічні, природні та нормативно-правові обмеження з пороговими значеннями коефіцієнта використання номінальної потужності, внаслідок чого сформовано кадастр територій для розміщення ВЕС.

4. Удосконалено математичну модель оцінки технічного потенціалу шляхом використання діаграми Вороного для екстраполяції даних швидкості вітру, що дозволило розробити адаптивний метод оцінки технічного вітроенергетичного потенціалу території суходолу та акваторії України.

Наукова обґрунтованість представлених результатів здобувача.

Наукові положення та висновки, що містяться в дисертаційній роботі, є теоретично обґрунтованими і підтверджуються проведеним моделюванням під час виконання науково-дослідних робіт, апробацією на наукових міжнародних конференціях і наукових семінарах.

Представлена дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням. Зміст дисертації, структура, послідовність та повнота розв'язаних задач цілком відповідають темі роботи.

Представлена робота відповідає принципам академічної доброчесності, а саме: відтворення в тексті наукової роботи результатів дослідження інших науковців наведено з посиланнями, що не порушує Закон України «Про авторське право і суміжні права»; адекватність та точність наведеної інформації (без спотворення) з цитуванням із іноземних джерел.

Наукове значення та практична цінність.

Дисертаційна робота містить нові теоретичні положення та методичні підходи до оцінювання технічного потенціалу вітроенергетичних ресурсів, що враховують регіональні кліматичні, орографічні, нормативно-правові та геопросторові особливості. Розроблено адаптивний метод, який забезпечує точність оцінки, співставну з провідними комерційними моделями, але з більшою доступністю для наукових та практичних потреб в Україні.

Удосконалено математичні моделі оцінки потенціалу шляхом застосування геоінформаційних технологій та алгоритмів просторового аналізу (зокрема діаграми Вороного) для екстраполяції вітрових характеристик.

Результати дослідження поглиблюють наукові уявлення про просторовий розподіл вітроенергетичних ресурсів України та підходи до їх інтегрованого оцінювання для планування розвитку відновлюваної енергетики.

Розроблений адаптивний метод оцінки технічного потенціалу може бути використаний державними органами, інвесторами та проектними організаціями для визначення оптимальних локацій розміщення вітроелектричних станцій, обґрунтування інвестиційних рішень і підготовки регіональних та національних програм розвитку вітроенергетики.

Створені авторкою ГІС-карти технічного потенціалу суші та акваторії України формують інформаційну базу для довгострокового енергетичного планування та розвитку вітрової енергетики.

Результати дослідження можуть бути застосовані в освітньому процесі для підготовки фахівців з відновлюваної енергетики, а також для підвищення обґрунтованості проектів у галузі ВДЕ, що зменшує ризики та підвищує ефективність інвестицій.

Оцінка публікацій здобувача.

Викладені в дисертаційній роботі результати дослідження отримали достатній рівень апробації. За результатами дисертаційного дослідження опубліковано 33 наукових роботи, зокрема: 7 колективних монографій та збірників праць, 2 атласи відновлюваних джерел енергії, 10 статей (2 із них у

наукових фахових виданнях України, перелік яких затверджено МОН України, 7 із них – у наукових фахових виданнях України, які входять до міжнародної наукометричної бази даних Scopus, 1 з яких в фаховому зарубіжному виданні, що входить до міжнародної наукометричної бази даних Scopus), а також 14 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій.

Структура та зміст дисертації.

Структура дисертації побудована відповідно до мети та задач дослідження. Викладення основного матеріалу дисертації, наукових положень, результатів та висновків логічне та аргументоване. Дисертація написана в науковому стилі та оформлена відповідно до чинних вимог.

Дисертаційна робота Петренко К.В. викладена на 188 сторінках, складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 6 додатків. Обсяг основного тексту дисертації складає 123 сторінки друкованого тексту. Робота ілюстрована 14 таблицями та 53 рисунками. Список використаних джерел містить 164 найменування.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дослідження, зазначено зв'язок з науковими програмами, сформульовані мета і завдання дослідження, об'єкт та предмет дослідження, викладені наукова новизна і практичне значення отриманих результатів, наведено особистий внесок здобувача, публікації та апробацію наукових результатів.

Перший розділ присвячено аналізу сучасного стану та перспектив розвитку вітроенергетики в Україні та світі, а також науково-методичним засадам оцінювання вітроенергетичного потенціалу території. Проведено критичний огляд існуючих методик, які використовуються для розрахунку вітроенергетичного потенціалу в різних країнах, з виявленням їх переваг та обмежень щодо застосування в умовах України. Зазначено, що більшість з них орієнтовані на глобальні бази даних та мають недостатню просторову деталізацію, що ускладнює використання для регіонального та локального планування. У розділі обґрунтовано необхідність розроблення адаптивного методу, здатного враховувати регіональні кліматичні та орографічні особливості, а також поєднувати технічні й нормативно-правові критерії доступності територій. Визначено, що одним з ключових завдань є формування достовірної бази даних швидкості та напрямку вітру, яка повинна ґрунтуватися на результатах валідації даних метеостанцій та даних реаналізу.

Другий розділ присвячений формуванню верифікованої бази даних швидкості та напрямку вітру для суші та акваторії України. На основі багаторічних рядів спостережень за швидкістю вітру на 187 метеостанціях України, проведено їх валідацію щодо однорідності та репрезентативності, сформовано перелік 70 метеостанцій, дані яких придатні для відображення

сучасної вітрової картини суші. Для акваторії, де дані фізичних вимірювань відсутні, розглянуто можливість використання даних реаналізу. Проведено кластерний аналіз порівняння даних реаналізу з результатами метеостанцій, виділено типові станції та розраховано вітроенергетичні параметри. Обґрунтовано умови, за яких дані реаналізу можуть бути використані для оцінки вітроенергетичного потенціалу, зокрема для офшорних територій.

Третій розділ дисертаційної роботи присвячений удосконаленню підходів до просторового аналізу та моделювання технічного потенціалу вітроенергетичних ресурсів України з урахуванням вертикальної структури вітрового потоку. Для території та акваторії України за період 2011–2020 рр. побудовано карти середньої швидкості вітру та виконано просторову інтерполяцію даних із застосуванням діаграм Вороного. Верифіковані метеорологічні станції було використано для визначення переважаючих напрямків вітру, що також відображено картографічно. Досліджено вплив сезонної, добової та просторової мінливості параметра вертикального профілю вітру (α) на точність визначення швидкості вітру на висоті осі ротора ВЕУ та відповідно на точність прогнозу виробітку електроенергії, що має важливе практичне значення. Удосконалено математичну модель оцінки технічного потенціалу вітроенергетичних ресурсів, яка враховує просторову дискретизацію, часову деталізацію, вертикальний профіль швидкості, криву потужності ВЕУ, територіальні обмеження та порогові значення КВНП, що підвищує точність і практичну цінність результатів визначення технічного вітроенергетичного потенціалу території.

Четвертий розділ присвячений визначенню потенціалу доступних площ для будівництва ВЕС, визначенню та картографуванню технічного потенціалу вітроенергетичних ресурсів суші та акваторії України із застосуванням удосконаленої математичної моделі та розробленого адаптивного методу. На основі валідованої бази даних швидкості вітру, параметрів вертикального профілю та критеріїв придатності територій виконано просторове моделювання з урахуванням технічних, природних та нормативно-правових обмежень. Виконано апробацію адаптивного методу на площадці проєктної ВЕС.

Висновки по дисертаційній роботі підкреслюють наукову новизну та практичну цінність проведених досліджень.

Список використаної літератури дисертаційної роботи є репрезентативним і охоплює 164 джерела, серед яких наявні наукові монографії, статті у фахових та міжнародних виданнях, матеріали конференцій, аналітичні звіти, нормативно-правові акти та інтернет-ресурси. Близько половини становлять публікації зарубіжних авторів, що відображає сучасний світовий рівень досліджень у галузі вітроенергетики, метеорології та відновлюваної енергетики загалом. Джерела охоплюють період від класичних

фундаментальних праць до найновіших публікацій останніх років, що свідчить про глибину опрацювання теми та використання актуальної інформації для вирішення поставлених наукових завдань.

Додатки до дисертаційної роботи містять розширені матеріали, що доповнюють основний текст і підтверджують результати дослідження: результати валідації даних метеостанцій, карти об'єктів та їх буферних зон, площі яких мають бути виключені при розрахунку потенціалу доступних для будівництва ВЕС територій (для суходолу та акваторії) та картографічне представлення просторового розподілу джерел інформації про вітер. Ці матеріали забезпечують наочність, деталізацію та відтворюваність проведених розрахунків.

Відповідність дисертаційної роботи вимогам МОН України.

Матеріал дисертації викладено логічно і обґрунтовано, усі розділи мають свою специфіку, котра у сукупності свідчить про цілісність та завершеність дисертаційної роботи. Таким чином, представлена дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, що написано науковою мовою. Зміст, структура, послідовність та повнота розв'язаних задач цілком відповідають як темі роботи так і затвердженим вимогам до написання дисертаційних досліджень МОН України.

Зауваження.

1. У роботі недостатньо представлено порівняння отриманих результатів оцінки технічного вітроенергетичного потенціалу з результатами попередніх досліджень для території та акваторії України, що обмежує можливість повного зіставлення ефективності запропонованого методу з вже існуючими підходами.

2. Деякі карти та графічні матеріали в тексті дисертації та у додатках можна було б подати у вищій роздільній здатності та з більш детальною легендою для зручності використання в практичній роботі.

3. У тексті окремі абзаци містять надлишкову термінологічну насиченість, що може ускладнити сприйняття для читачів, не спеціалізованих у галузі вітроенергетики; доцільно було б подати короткий глосарій основних термінів.

Загальний висновок опонента по дисертаційній роботі.

Детальний аналіз матеріалу дисертаційної роботи та опублікованих наукових праць дає змогу стверджувати, що дисертаційна робота Петренко Катерини Володимирівни «Технічний потенціал використання енергії вітру вітроелектричними станціями в кліматичних умовах України» містить усі ознаки

ознаки завершеної наукової роботи. У ній отримано нові науково обґрунтовані результати, що дозволяють підвищити ефективність планування розвитку вітроенергетики на території суші та акваторії України.

Дисертаційна робота Петренко К.В. є самостійно виконаним науковим дослідженням. Матеріал дисертації викладено послідовно, стиль викладу відзначається логічністю, чіткістю й науковою коректністю. Висновки до кожного розділу і дисертації в цілому узгоджуються з метою, завданнями та змістом проведених досліджень. Публікації авторки повністю відображають наукові положення і результати дисертаційної роботи.

Враховуючи актуальність теми дисертаційної роботи, а також отримані достовірні наукові результати, що мають наукове і практичне значення, та достатнє повне висвітлення основних положень дисертації у публікаціях, вважаю, що представлена дисертаційна робота відповідає вимогам «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 січня 2022 р. № 44, а її авторка Петренко Катерина Володимирівна заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук,
професор, завідувач кафедри
електричних станцій та систем
Вінницького національного
технічного університету

Вячеслав КОМАР

Вчений секретар



Інна ВІШТАК