

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Пучка Тараса Вікторовича

**на тему «Методи, алгоритми та програмні засоби паралельного
моделювання електроенергетичних систем в задачах прогнозування
розвитку генеруючих потужностей»,**

представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань
12 Інформаційні технології за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

Актуальність теми дисертації

Актуальність дослідження зумовлена трансформацією електроенергетики в умовах декарбонізації, децентралізації, зростання частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та необхідності відновлення енергетичної системи України, що посилює потребу в обґрунтованому визначенні перспективної структури генеруючих потужностей. Детальне врахування сценарної невизначеності та технологічних обмежень обладнання приводить до необхідності розв'язування масштабних задач змішаного цілочисельного лінійного програмування (MILP), що потребує значних витрат часу й обчислювальних ресурсів. Водночас необхідні моделі та дані розподілені між незалежними учасниками і не завжди можуть бути централізовано об'єднані. За цих умов розроблення паралельних методів, алгоритмів і програмних засобів моделювання електроенергетичних систем (ЕЕС), здатних забезпечити ефективні розрахунки без втрати необхідної деталізації, є своєчасним і має вагоме наукове та практичне значення.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Обґрунтованість одержаних наукових результатів забезпечується логічною послідовністю дослідження. Спочатку проаналізовано сучасні методи і засоби моделювання ЕЕС, далі формалізовано задачу, розроблено метод та алгоритми, виконано їх програмну реалізацію й експериментальну перевірку. Застосовані методи системного аналізу, математичного моделювання й математичної оптимізації, метаевристичного пошуку, декомпозиції, паралельних обчислень і проектування інформаційних систем відповідають поставленим завданням. Запропоновані архітектурні рішення узгоджуються з вимогами до розподіленості, інтероперабельності, конфіденційності та суверенітету даних.

На підставі аналізу дисертаційної роботи вважаю, що наукову новизну визначають такі результати:

1. Для задач прогнозування розвитку генеруючих потужностей ЕЕС розроблено паралельний метод оптимізації їх структури, який поєднує метаевристичний пошук дискретних інвестиційних рішень, розпаралелювання обчислень за варіантами структури та сценарними операційними підзадачами, а також безпосереднє розв'язування цих підзадач у постановці MILP з

урахуванням обмежень задачі вибору складу генеруючого обладнання (UC). Суттєвою перевагою методу є збереження операційної моделі за одночасного використання двох рівнів паралелізації, без релаксації UC-обмежень і сурогатної апроксимації.

2. Подальшого розвитку набув алгоритмічний підхід до організації та керування паралельним розв'язуванням задач оптимізації структури генеруючих потужностей. Він поєднує фільтрацію варіантів інвестиційних рішень, кешування результатів, формування завдань виду «варіант структури — сценарна операційна підзадача», планування і балансування їх виконання та повторне використання екземплярів операційних моделей. Наукова цінність результату полягає в цілісній організації цих механізмів у межах дворівневої схеми паралельних обчислень, що зменшує повторні розрахунки й накладні витрати без спрощення MILP-моделі.

3. Запропоновано концептуальну архітектуру федеративного середовища моделювання ЕЕС, яка поєднує багаторівневу організацію компонентів, реєстри ресурсів, стандартизовані вебінтерфейси прикладного програмування, централізоване узгодження правил взаємодії та децентралізоване керування локальними моделями, даними й обчислювальними ресурсами. Новизна цього результату полягає у створенні архітектурних передумов для координованої взаємодії незалежних моделей без централізованого накопичення конфіденційних даних.

Достовірність результатів підтверджується програмною реалізацією розробленого методу мовою Julia із застосуванням інструментарію JuMP і солвера SCIP та двома серіями повторюваних обчислювальних експериментів на різних тестових моделях ЕЕС. Порівняння з безпосереднім розв'язуванням задачі у монолітній MILP-постановці засвідчило високу частоту відтворення еталонного розв'язку та скорочення часу обчислень.

Сукупність одержаних результатів відповідає темі й меті дослідження та свідчить про належний рівень виконання поставленого наукового завдання. Отже, наукове завдання дисертаційної роботи виконано повністю, а здобувач продемонстрував володіння методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Пучка Т.В. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 122 Комп'ютерні науки та напрямам досліджень відповідно до освітньо-наукової програми Комп'ютерні науки.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям інформаційні технології.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові збіги та здійснивши експертний аналіз її тексту й результатів,

можна зробити висновок, що дисертаційна робота Пучка Тараса Вікторовича є результатом самостійних досліджень здобувача. Ознак академічного плагіату, фабрикації чи фальсифікації не виявлено. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою. Матеріал викладено послідовно, із дотриманням логічного зв'язку між постановкою проблеми, теоретичним обґрунтуванням, розробленням методів і алгоритмів, програмною реалізацією та експериментальною перевіркою одержаних результатів. Стиль викладу є науковим і стриманим. Формулювання здебільшого точні та зрозумілі для фахівців у галузі комп'ютерних наук і моделювання в енергетиці. Фахова термінологія, математичні позначення, скорочення та англomовні аббревіатури використовуються узгоджено, а ключові поняття належним чином визначено.

Дисертація складається з переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, висновків до розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи становить 164 сторінки, із них основний текст викладено на 116 сторінках. Робота містить 13 рисунків і 13 таблиць.

У вступі обґрунтовано актуальність дослідження, визначено його мету, завдання, об'єкт, предмет і методи, сформульовано наукову новизну та практичне значення результатів. У першому розділі проаналізовано сучасний стан електроенергетики, інструменти моделювання ЕЕС і методи оптимізації структури генеруючих потужностей. Другий розділ присвячено математичній постановці задачі, сценарному моделюванню, декомпозиції та розробленню паралельного методу й алгоритмів його реалізації. У третьому розділі обґрунтовано концептуальну архітектуру федеративного середовища моделювання. У четвертому розділі описано програмний комплекс, організацію паралельних обчислень, методику та результати двох обчислювальних експериментів, а також напрями практичного застосування розробок. Загальні висновки узагальнюють основні наукові та практичні результати дослідження.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлено у 14 наукових публікаціях здобувача, серед яких 4 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України категорії «Б», та одна стаття у періодичному науковому виданні, проіндексованому в базі даних Scopus і віднесеному до першого квартиля (Q1) за класифікацією SCImago Journal and Country Rank. Крім того, опубліковано 4 праці за матеріалами конференцій у виданнях, проіндексованих у Scopus, та 5 інших публікацій за матеріалами науково-практичних і науково-технічних конференцій. На розроблені комп'ютерні програми отримано два свідоцтва про державну

реєстрацію авторського права. Результати дисертаційного дослідження апробовано на 8 міжнародних і всеукраїнських наукових заходах.

Публікації відповідають тематиці дисертації та мають належний науковий рівень. У працях, виконаних у співавторстві, визначено особистий внесок здобувача; відомостей про порушення принципів академічної доброчесності в опублікованих матеріалах не виявлено. Таким чином, наукові результати, описані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. У підрозділі 2.2.6 доцільно більш чітко розмежувати технологічні обмеження, які враховуються в задачі вибору складу генеруючого обладнання, та ті, що залишаються поза межами запропонованої математичної моделі. Зокрема, бажано окремо прокоментувати врахування або неврахування обмежень щодо мінімальної тривалості роботи та простою генеруючих блоків, а також вимог до операційного резерву.

2. У дисертаційній роботі основну увагу приділено визначенню цільової структури генеруючих потужностей на заданому горизонті прогнозування. Водночас для практичного планування розвитку ЕЕС важливим є також урахування послідовності введення нових, модернізації та виведення з експлуатації існуючих генеруючих потужностей. Було б доцільно більш детально окреслити можливості застосування запропонованого методу до багатоетапної постановки задачі.

3. Експериментальне дослідження не містить достатньо детального аналізу чутливості результатів оптимізації до кількості сформованих репрезентативних тижнів. Доцільно було б порівняти отримані результати за базового, скороченого та розширеного наборів репрезентативних сценаріїв, що дозволило б оцінити компроміс між точністю представлення режимів роботи ЕЕС та обчислювальною складністю запропонованого методу.

4. У математичній моделі доцільно більш детально розглянути можливість вимушеного обмеження генерації відновлюваних джерел енергії. В умовах недостатньої пропускної спроможності зовнішніх зв'язків, обмежених можливостей накопичення електроенергії або надлишкової генерації ВДЕ введення відповідної змінної та системи обмежень могло б підвищити адекватність моделі для окремих режимів роботи ЕЕС.

5. Безпосереднє порівняння ефективності алгоритмів АСО, СМА-ES та ЕСА дещо ускладнюється використанням різних розмірів популяцій, параметрів налаштування та, ймовірно, різних умов завершення пошуку. Для більш коректного зіставлення ефективності алгоритмів доцільно було б додатково навести результати їх роботи за однакового обчислювального бюджету, наприклад за однакової максимальної кількості обчислень цільової функції.

6. У таблиці 4.9 та відповідному їй обговоренні наведено різні причини невдалих запусків алгоритмів, зокрема перевищення ліміту часу, локальну

стагнацію та отримання недопустимих структур генеруючих потужностей. Водночас доцільно було б більш чітко визначити критерії віднесення запуску до кожної із зазначених категорій: на якому рівні встановлювався часовий ліміт, за якими ознаками фіксувалася стагнація або відсутність збіжності та яким чином класифікувалися випадки отримання недопустимих розв'язків.

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

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Пучка Тараса Вікторовича на тему «Методи, алгоритми та програмні засоби паралельного моделювання електроенергетичних систем в задачах прогнозування розвитку генеруючих потужностей» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для інформаційних технологій. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам пунктів 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 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Пучко Тарас Вікторович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

Офіційний опонент:

завідувач відділу
теоретичної електротехніки та
діагностики електротехнічного обладнання
Інституту електродинаміки
Національної академії наук України,
д.т.н., професор



Євген ЗАЙЦЕВ

Підпис засвідчую

Вчений секретар
Інституту електродинаміки НАН України



Марина ГУТОРОВА



«19» серпня 2026 року