

РЕЦЕНЗІЯ

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 теми дисертації зумовлена потребою в науково обґрунтованому прогнозуванні розвитку генеруючих потужностей за умов декарбонізації, зростання частки відновлюваних джерел енергії, поширення систем накопичення енергії та децентралізації електроенергетичних систем (ЕЕС). Для України ця проблема особливо важлива через пошкодження енергетичної інфраструктури, потребу підвищення резильєнтності ЕЕС та формування оптимальної структури генерації для відновлення і розвитку ЕЕС.

Врахування сценаріїв генерації і споживання, операційної гнучкості та технічних обмежень обладнання часто приводить до задач змішаного цілочисельного лінійного програмування (MILP), розв'язання яких потребує значних обчислювальних ресурсів і паралелізації обчислень. Тому розроблення методів, алгоритмів і програмних засобів паралельного моделювання ЕЕС має вагоме практичне значення для стратегічного планування розвитку електроенергетики України.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

У дисертаційній роботі одержано науково обґрунтовані результати, спрямовані на підвищення обчислювальної ефективності комп'ютерного моделювання електроенергетичних систем у задачах прогнозування розвитку генеруючих потужностей. Обґрунтованість наукових положень забезпечується коректною постановкою задачі дослідження, використанням методів системного аналізу, математичного моделювання та оптимізації, метаевристичних методів, декомпозиції й паралельних обчислень, а також узгодженістю теоретичних положень із результатами обчислювальних експериментів.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в такому:

1. Вагомим науковим результатом є розроблений паралельний метод оптимізації структури генеруючих потужностей, у якому метаевристичний пошук дискретних інвестиційних рішень поєднано з паралельним оцінюванням варіантів структури генеруючих потужностей та розв'язанням сценарних MILP-

підзадач з урахуванням обмежень задачі вибору складу генеруючого обладнання (UC). Суттєвою відмінністю методу є збереження деталізованої операційної моделі без релаксації обмежень UC і без сурогатної апроксимації операційної моделі.

2. Подальшого розвитку набув алгоритмічний підхід до організації паралельних обчислень, що охоплює фільтрацію та кешування варіантів інвестиційних рішень, формування завдань «структура — сценарій», їх планування і балансування, а також повторне використання екземплярів сценарних моделей. Запропоноване поєднання засобів дає змогу зменшити повторні обчислення й накладні витрати без спрощення операційних MILP-підзадач.

3. Самостійне наукове значення має концептуальна архітектура федеративного середовища моделювання, що поєднує багаторівневу організацію компонентів, реєстри ресурсів, стандартизовані вебінтерфейси прикладного програмування, централізоване узгодження правил взаємодії та децентралізоване керування моделями, даними й обчислювальними ресурсами. Наукова цінність цього результату полягає у створенні передумов для координованої взаємодії незалежних моделей без централізованого накопичення конфіденційних даних.

Наведені результати є науково обґрунтованими, відповідають темі дисертації та забезпечують виконання поставленого наукового завдання.

Достовірність одержаних результатів підтверджується програмною реалізацією розробленого методу мовою Julia з використанням інструментарію JuMP і солвера SCIP та проведенням серій обчислювальних експериментів на двох тестових моделях локальних електроенергетичних систем. Результати порівнювалися з безпосереднім розв'язуванням задачі у монолітній постановці. Для системи з відновлюваними джерелами енергії та системами накопичення енергії середній час одного запуску на 64 потоках зменшено у 13,38 раза з відтворенням еталонного розв'язку у 99 % запусків. Для системи, що додатково містить теплові електростанції, на 128 потоках середній час успішних запусків зменшено у 3,77 раза з відтворенням еталонного розв'язку у 98 % запусків, а середнє відносне відхилення значення цільової функції у двох інших допустимих розв'язках становило 0,70 %. Оцінювання часу виконання, використання оперативної пам'яті, масштабованості та повторюваності результатів засвідчує працездатність розробленого методу й обґрунтованість зроблених висновків.

Наукові дослідження були виконані здобувачем в Інституті проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України у відділі математичного та економетричного моделювання під керівництвом чл.-кор. НАН України, д.т.н., проф. Сауха Сергія Євгеновича.

Отже, поставлене в дисертаційній роботі наукове завдання щодо підвищення обчислювальної ефективності комп'ютерного моделювання електроенергетичних систем у задачах прогнозування розвитку генеруючих потужностей та обґрунтування архітектурних рішень для виконання такого моделювання за умов розподіленості моделей, даних і обчислювальних ресурсів виконано повністю, а здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

За своїм змістом, тематикою та отриманими результатами дисертаційна робота Пучка Т. В. відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» для третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти 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 комп'ютерного моделювання та оптимізації електроенергетичних систем.

За результатами ознайомлення зі звітом подібності та аналізу тексту дисертації ознак академічного плагіату не виявлено. За результатами аналізу поданих матеріалів ознак фабрикації чи фальсифікації не встановлено. 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, логічно та аргументовано, з дотриманням наукового стилю. Фахову термінологію у сфері комп'ютерного моделювання, математичної оптимізації, паралельних обчислень та електроенергетики використано коректно й послідовно. Основні умовні позначення, скорочення та спеціальні поняття належним чином визначено. Математичні моделі, алгоритмічні рішення та результати обчислювальних експериментів супроводжено необхідними поясненнями, таблицями й рисунками, що забезпечує доступність викладення для фахівців у галузі комп'ютерних наук.

Дисертація складається з переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, висновків до розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та трьох додатків. Загальний обсяг дисертації становить 164 сторінки, з яких основний текст викладено на 116 сторінках. Робота містить 13 рисунків і 13 таблиць. Список використаних джерел налічує 129 найменувань і розміщений на 20 сторінках, додатки — на 7 сторінках.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, розкрито її зв'язок із науковими програмами та проєктами, сформульовано мету і завдання, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження, наведено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, відомості про особистий внесок здобувача, апробацію результатів і наукові публікації.

У першому розділі проаналізовано сучасні тенденції трансформації електроенергетичних систем, наявні програмні засоби їх моделювання, методи оптимізації структури генеруючих потужностей, а також обчислювальні й методичні обмеження існуючих підходів. За результатами проведеного аналізу сформульовано наукове завдання дослідження.

У другому розділі викладено сценарний підхід до моделювання режимів роботи електроенергетичних систем, наведено математичну модель задачі оптимізації структури генеруючих потужностей, обґрунтовано її дворівневу декомпозицію та розроблено паралельний алгоритм оптимізації. Також здійснено порівняння запропонованого методу з класичними методами декомпозиції та підходами сурогатної оптимізації.

У третьому розділі запропоновано та обґрунтовано концептуальну архітектуру федеративного середовища моделювання електроенергетичних систем. Визначено вимоги до такого середовища, принципи його багаторівневої організації, структуру реєстрів ресурсів, засади довіри, безпеки та інтеперабельності вебінтерфейсів прикладного програмування, а також структуру локального середовища учасника федерації.

У четвертому розділі представлено програмну реалізацію паралельного методу оптимізації структури генеруючих потужностей, описано організацію паралельних обчислень та наведено результати експериментальних досліджень на двох тестових моделях локальних електроенергетичних систем. Визначено показники обчислювальної ефективності розробленого методу, умови його доцільного застосування та можливості інтеграції програмного комплексу до федеративного середовища моделювання.

У загальних висновках узагальнено основні теоретичні та практичні результати дослідження, які відповідають поставленій меті й сформульованим завданням.

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 до переліку наукових фахових видань України категорії «Б»; 1 стаття у періодичному науковому виданні, проіндексованому в міжнародній наукометричній базі даних

Scopus та віднесеному до першого квартиля (Q1) відповідно до класифікації SCImago; 4 публікації за матеріалами конференцій у виданнях, проіндексованих у базі даних Scopus; 5 інших публікацій за матеріалами науково-практичних і науково-технічних конференцій.

Результати дисертаційного дослідження було апробовано на 8 міжнародних і всеукраїнських наукових заходах. На комп'ютерні програми, що входять до складу розробленого програмного комплексу та реалізують паралельний метод оптимізації структури генеруючих потужностей, отримано 2 свідоцтва про державну реєстрацію авторського права.

Наукові публікації відповідають темі дисертації, мають належний науковий рівень і достатньо повно відображають основні теоретичні, алгоритмічні та практичні результати дослідження. Особистий внесок здобувача у працях, опублікованих у співавторстві, полягає в методологічному опрацюванні алгоритмічної схеми оптимізації структури генеруючих потужностей, адаптації математичних моделей, програмній реалізації розроблених методів, підготовці й опрацюванні даних, проведенні обчислювальних експериментів та аналізі й візуалізації отриманих результатів. Також здобувачем здійснено технічну реалізацію паралельного середовища моделювання та інтеграцію моделей з алгоритмами оптимізації і форматами даних. Шість публікацій є одноосібними. Наведені відомості дають змогу чітко визначити особистий внесок здобувача та свідчать про дотримання у наукових публікаціях принципів академічної доброчесності.

Таким чином, наукові результати, описані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача та пройшли належну апробацію.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. У методиці експериментальних досліджень варто було б зазначити використані параметри зупинки солвера SCIP, такі як допустимий розрив оптимальності.

2. У розділі 4 доцільно було б окремо показати, скільки часу витрачається на формування та оновлення екземплярів моделей JuMP, роботу SCIP, планування завдань, використання кешу, введення-виведення даних і об'єднання результатів.

3. Оскільки вплив кешування досліджено окремим експериментом, доцільно було б так само оцінити вплив повторного використання екземплярів сценарних моделей і випадкового перемішування черги завдань.

4. Доцільно було б навести пікове використання оперативної пам'яті для однопоточної конфігурації розробленого методу та оцінити приріст використання пам'яті зі збільшенням кількості потоків. Варто також подати

орієнтовні рекомендації щодо вибору рівня паралелізму залежно від доступного обсягу оперативної пам'яті.

5. У розділі 4 результати багаторазових запусків коректно подано як середнє значення та стандартне відхилення. Водночас через значну варіативність часу виконання доцільно було б додатково навести медіану та міжквартильний діапазон.

6. У розділі 4 доцільно було б звести в окрему таблицю характеристики обчислювальних вузлів, версії Julia, JuMP, SCIP, операційної системи та основних пакетів для полегшення відтворення експериментів.

Вважаю, що висловлені зауваження не є принциповими і не знижують наукової новизни й практичного значення результатів і 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 галузі 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».

Рецензент:

завідувач Відділення гібридних моделюючих та керуючих систем в енергетиці
Інституту проблем моделювання в енергетиці
ім. Г.Є. Пухова НАН України,
доктор технічних наук, професор

Олександр ЧЕМЕРИС



М.П. «28» липня 2026 року