

## ПРОЕКТ

### «Затверджую»

Директор Інституту проблем моделювання  
в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України  
чл.-кор. НАН України, д.т.н., професор

\_\_\_\_\_ В.В. Мохор

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

## ВИСНОВОК

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів докторської дисертації ЄВДОКІМОВА Володимира Анатолійовича «Методи та засоби комп'ютерного моделювання мультиагентного процесу ціноутворення в організаційно-технічних системах»**

**Актуальність теми дослідження.** Сучасний розвиток електроенергетичного комплексу країни супроводжується розвитком системи формування цін на ринку електроенергії, широкомасштабним впровадженням у традиційні енергетичні системи генеруючих об'єктів і устаткування, які використовують відновлювані джерела енергії, реалізацією основних складових концепції Smart Grid щодо розвитку електроенергетичних систем, що отримала назву 3D (декарбонізація, децентралізація, діджиталізація).

Тому розробка моделюючого середовища та програмно-апаратних засобів інформаційно-технологічного забезпечення процесу функціонування складної організаційно-технічної системи ціноутворення на ринку ЕЕ на сучасному етапі розвитку електроенергетики є актуальною науково-прикладною проблемою.

У дисертаційній роботі В.А. Євдокімова вирішується комплекс задач для розв'язання цієї проблеми шляхом розроблення методів математичного та комп'ютерного моделювання мультиагентного процесу функціонування складної організаційно-технічної системи (СОТС) ціноутворення, програмно-апаратних засобів комп'ютерної системи моделювання ринкової рівноваги задля організації інформаційно-технологічного забезпечення всебічного дослідження процесу ціноутворення в умовах зміни у структурі виробництва та споживання

електроенергії, стрімкого зростання числа учасників торгівельно-економічних відносин на ринку електроенергії.

**Структура дисертації.** Представлена до розгляду докторська дисертація В.А. Євдокімова складається з анотації, вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел та 4 додатків. Загальний обсяг роботи складає 310 сторінок (із них 241 основного тексту дисертації), 38 рисунків, 12 таблиць, списку використаних джерел (включає 158 найменувань), засвідчена власним підписом на титульній сторінці.

Дисертаційна робота супроводжується окремим рефератом обсягом 2 авторських аркуші.

Представлена до розгляду дисертація є кваліфікаційною науковою працею, виконаною здобувачем самостійно, що містить наукові положення та нові науково обґрунтовані результати в галузі технічних наук, одержані здобувачем особисто, які мають практичну та теоретичну цінність.

**Основні наукові результати.** Згідно проведеного розгляду дисертації, до основних наукових результатів, що отримані автором самостійно і складають наукову новизну дисертаційного дослідження, відносяться такі результати:

1. Запропоновано математичний опис процесу ціноутворення у СОТС як сукупності формалізованих дій з виробництва та споживання товару в реальних умовах організаційної, технологічної та інформаційної взаємодії суб'єктів товарного ринку. Від відомих запропонований опис відрізняється способом формалізації такого процесу шляхом його подання у вигляді двох взаємопов'язаних графів поточкорозподілу товару та його вартості з різним кількісним складом вузлів, які названо локальними вузлами ціноутворення.

2. Запропоновано метод вузлової трансформації процесу ціноутворення на ринку ЕЕ для аналізу цінової динаміки у вузлах всього ланцюгу поточкорозподілу електричної енергії (ЕЕ) та її вартості від виробника до кінцевого споживача, з використанням обчислювальних процедур визначення індексів цін. Відмінна особливість методу від відомих полягає у його здатності відображати зміни цін та

обсягів ЄЕ у підсистемах, елементарних вузлах та вузлових точках СОТС ціноутворення, з урахуванням впливу як внутрішніх, так і зовнішніх факторів.

3 Розроблено мультиагентне подання процесу ціноутворення, а саме: функціональний опис агентів у мультиагентній системі ціноутворення. На відміну від відомих таке подання відрізняється наявністю у складі агентів зовнішнього середовища, яке впливає на процес ціноутворення. На його основі побудовано мультиагентну імітаційну модель процесу ціноутворення у вигляді кортежу сукупності певних множин імітованих агентів та множини агентів впливу зовнішнього середовища. Розроблено агентно-орієнтовану архітектуру комунікаційного середовища взаємодії агентів у процесі ціноутворення у вигляді сукупності множин автономних агентів, агентів навколишнього та зовнішнього середовища організаційної, інформаційної, технологічної та економічної взаємодії агентів у єдиному процесі ціноутворення в СОТС ринку ЄЕ.

4. Розроблено метод кількісної оцінки рішень щодо сполучення сегментів ринків ЄЕ «на добу наперед» України та європейських міждержавних бірж ЄЕ задля забезпечення детального аналізу результатів сполучення ринків ЄЕ. На відміну від відомих, розроблений метод використовує функції чистого експорту для побудови імітаційної моделі розв'язання оптимізаційної задачі максимізації цільової функції добробуту учасників ринку із врахуванням обмежень обсягів імпорту/експорту ЄЕ. Особливості застосування запропонованого методу продемонстровано на прикладі аналізу результатів сполучення ринків ЄЕ України та Молдови. Отримані результати розрахунків підтверджують, що метод дає можливість приймати обґрунтовані рішення на етапі підготовки до інтеграції сегменту ринку «на добу наперед» України з європейськими ринками ЄЕ.

5. Розроблено математичну модель оптимізаційної задачі моделювання рівноважного стану сегменту ринку «на добу наперед» (РДН) задля визначення рівноважної ціни ЄЕ на підставі цінових заявок виробників та постачальників ЄЕ. Модель представлено у вигляді нелінійної задачі, що містить два типи невідомих змінних – цілі числові змінні, значення яких відображають ринкові рішення щодо акцепту заявок на купівлю та продаж ЄЕ, та дійсні змінні, які визначають рівноважні

ціни для кожного розрахункового періоду часу. На відміну від відомих, таку модель сформовано у вигляді оптимізаційної задачі з параметрично заданими рівноважними цінами на ринку. Запропоновано обчислювальний метод пошуку оптимального рішення задач моделювання та на його підставі розроблений алгоритм та програму його реалізації.

6. Розроблено структурну організацію програмного забезпечення комп'ютерної системи моделювання процесу ціноутворення у складі системи інформаційно-моделюючої та інформаційно-розрахункової підсистем як базового компонента системи підтримки прийняття рішень. Комплексна взаємодія цих підсистем забезпечується єдиним інформаційним простором, утвореним інформаційно-довідковими модулями різного призначення. Програмне середовище комп'ютерної системи утворює єдиний програмний продукт організації і розгортання інтерфейсів в режимі онлайн засобами Internet-середовища для супроводу діючих та створення нових функціональних задач організаційного управління процесами ціноутворення на ринку ЄЕ.

**Достовірність результатів.** Достовірність отриманих результатів та рекомендацій забезпечується: коректністю постановок задач з використанням загальноприйнятого математичного апарату, прийнятністю припущень, застосуванням ідентифікованих, верифікованих вихідних даних, на основі даних інформаційно-довідкових систем комп'ютерної системи моделювання. Співставлення отриманих нових результатів розрахунково-експериментальних досліджень із вже відомими чисельними рішеннями, розбіжність з якими не перевищує необхідного рівня достовірності та похибки, дозволяє зробити висновок про адекватність запропонованих у роботі математичних моделей.

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у провідних фахових виданнях, що індексуються в наукометричних базах Scopus та Web of Science Core Collection, у тому числі – 3 публікації у виданнях із квантилем Q3, розділ колективної монографії видавництва Springer.

**Практичне значення** отриманих результатів полягає у розробленні комплексу методів і засобів інформаційно-технологічного забезпечення,

комп'ютерної системи моделювання, які знайшли застосування на організаційно-технологічному рівні системи ціноутворення, та на рівні управління роздрібним ринком. А саме:

1) модель збирання даних динаміки змін кількісних та якісних показників функціонування об'єктів альтернативної електроенергетики, що дозволяє здійснювати збір і систематизацію актуальної інформації про об'єкти з необхідною дискретністю у часі, розширяє можливості її подальшого використання у вирішенні наукових і практичних задач інтеграції зазначених об'єктів до централізованої електроенергетичної системи, удосконаленню механізмів ціноутворення на ринку електроенергії. (Підтверджується листом підтримки дисертаційної роботи Асоціації сонячної енергетики України);

2) комп'ютерна модель оптимізаційної задачі пошуку рівноважного стану РДН та запропонований алгоритм її ітераційного розв'язку, які пов'язані з визначенням оптимальних цін та обсягів купівлі-продажу ЕЕ на РДН, знайшли застосування та використовуються при проведенні торгів на аукціоні РДН в резервній системі програмного забезпечення АТ «Оператор ринку». (Підтверджується актом введення в дослідну експлуатацію);

3) комп'ютерна система моделювання використовувалася при виконанні господарських договорів з енергетичними компаніями, суб'єктами ринку ЕЕ, під час вирішення поставлених ними задач аналізу цінової динаміки в вузлах всього ланцюгу від виробника до кінцевого споживача, із здійсненням прогнозування цін на РДН, аналізу динаміки ціноутворення на ринку та вироблення рекомендацій щодо розробки стратегії купівлі-продажу ЕЕ. (Підтверджується актами про використання результатів дисертаційної роботи).

**Відповідність змісту дисертації паспорту спеціальності.** Дисертаційна робота виконана за науковою спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи та відповідає паспорту зазначеної спеціальності за формулою спеціальності та за нижченаведеними напрямками досліджень:

– «розроблення або розвиток теорії математичного моделювання реальних явищ, об'єктів, систем чи процесів як сукупності формалізованих дій (операцій) для

складання ефективних математичних описів досліджувальних об'єктів» (розділи 2,3);

– «модифікація й спеціалізація існуючих обчислювальних методів з метою підвищення їх ефективності, створення і дослідження нових обчислювальних методів і алгоритмів, що враховують особливості реальних технічних та технологічних задач, забезпечують створення ефективних програмних засобів комп'ютерної реалізації» (розділ 4);

– «розроблення теорії побудови комп'ютерних, зокрема програмних, програмно-апаратних систем моделювання, включаючи їх структурну та алгоритмічну організацію, інформаційні технології їх використання при проведенні досліджень» (розділи 5,6).

Дисертація відповідає профілю спеціалізованої ради Д 26.185.01.

**Дисертаційна робота** характеризується цільністю, єдністю змісту, відповідає принципам академічної доброчесності, містить обґрунтовані висновки та свідчить про особистий внесок здобувача в науку щодо розв'язання важливої науково-прикладної проблеми розробки методів математичного та комп'ютерного моделювання мультиагентного процесу функціонування СОТС ціноутворення, програмно-апаратних засобів комп'ютерної системи моделювання задля організації інформаційно-технологічного забезпечення вирішення задач моделювання й обчислення у процесі ціноутворення та утворення нових механізмів управління процесом ціноутворення.

**Дотримання принципів академічної доброчесності.** У докторській дисертації здобувача і відповідних наукових публікаціях, де висвітлено основні отримані наукові результати, залучення наукових текстів, ідей, розробок, наукових результатів і матеріалів інших авторів здійснено із наданням посилань на праці авторів та/або джерела опублікування. Окремо відображено інформацію стосовно особистого внеску автора.

**Публікації.** Отримані під час виконання дисертаційної роботи результати повною мірою відображені у 21 науковій публікації, з яких: 1 монографія; 1 – розділ у колективній монографії у закордонному виданні, що індексується у

міжнародній наукометричній базі Scopus; 19 – статей у періодичних фахових виданнях, з яких 4 – у виданнях, що індексуються у міжнародних наукометричних базах Scopus та Web of Science Core Collection, у тому числі 3 з квантилем Q3; 19 – матеріалів доповідей на наукових конференціях, у тому числі 7 міжнародних, із яких 1 проіндексована у міжнародній наукометричній базі Scopus. 5 публікацій підготовлено одноосібно, у тому числі 1 монографія.

У тексті монографії здобувача використано матеріали наукових статей за його авторством, опублікованих раніше, на які надано відповідні посилання. Під час виконання дисертаційної роботи було використано значну кількість літературних джерел у галузі наукового дослідження; на всі ці літературні джерела наведено посилання у тексті дисертації.

Наукові результати, отримані в кандидатській дисертації автора, не входять до складу результатів, що виносяться на захист його докторської дисертації.

**Висновок.** Докторська дисертація В.А. Євдокімова є завершеною кваліфікаційною науковою працею, виконаною здобувачем самостійно, що містить наукові положення та нові науково обґрунтовані результати в галузі технічних наук, які одержані здобувачем особисто й мають практичну та теоретичну цінність. Робота характеризується єдністю змісту, відповідає принципам академічної доброчесності, містить обґрунтовані висновки та свідчить про особистий внесок здобувача в науку.

Дисертаційна робота виконана за науковою спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи в галузі технічних наук, відповідає паспорту даної спеціальності та рекомендується до подання до захисту до спеціалізованої вченої ради за цією спеціальністю.

Рецензенти:

Чл-кор., д-р техн. наук

Д-р техн. наук

Д-р техн. наук

Сергій САУХ

Володимир АРТЕМЧУК

Степан ВИННИЧУК