

## ВІДГУК

на дисертаційну роботу **Євдокімова Володимира Анатолійовича** на тему «Методи та засоби комп'ютерного моделювання мультиагентного процесу ціноутворення в організаційно-технічних системах», представлену на здобуття ступеня доктора технічних наук за науковою спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

### 1. Актуальність теми дисертації.

На сьогоднішній час, енергетична галузь знаходиться в перехідному періоді, в рамках якого передбачається поетапне проведення значних змін у структурі виробництва електричної енергії, особливо – із розвитком відновлювальних джерел енергії, з метою забезпечення споживачам доступу до ринків електроенергії, надійних та сучасних джерел енергії необхідної якості.

Одним із ключових напрямків плану розвитку енергетики, відповідно до прийнятої Енергетичної стратегії України на період до 2035, є виконання основних складових концепції Smart Grid, що отримала назву 3D (декарбонізація, децентралізація, діджиталізація), задля перетворення електроенергетики України в інтелектуальну екологічно безпечну систему.

Важливий напрямок розвитку ринку електроенергії, якому приділяється велика увага у багатьох країнах світу пов'язаний з вирішення проблеми управління попитом на ринку задля забезпечення задач оперативного планування електроспоживанням (попитом) з метою підвищення енергоефективності процесів виробництва, передачі та використання ЕЕ у зв'язку з необхідністю підвищення темпів впровадження концепцій Smart Grid та Demand Response у системах електропостачання із джерелами розподіленої, розосередженої генерації та активними споживачами в електроенергетичних системах. велика увага в багатьох країнах світу

Тому впровадженню планів з розвитку об'єднаної енергетичної системи в Україні мають передувати теоретичні та експериментальні дослідження процесу формування цін на товар-результат виробництва генеруючих компаній енергосистеми, послуги з його транспортування диспетчеризацію та розподіл продукту серед кінцевих споживачів в складній організаційно-технічній системі (СОТС) ціноутворення із використанням сучасних методів математичного та комп'ютерного моделювання та засобів інформаційно-технологічного забезпечення. Результати застосування таких всебічних досліджень з урахуванням особливостей структури виробництва, передачі, надання послуг з постачання споживачам можуть бути покладені в основу обґрунтування щодо розробки та впровадження нових механізмів ціноутворення на ринку електроенергії.

Автором обґрунтовується необхідність вирішення важливої науково-прикладної проблеми розробки методів математичного та комп'ютерного моделювання мультиагентного процесу формування цін у СОТС ціноутворення,

ІПМЕ № 393  
05.12.2024

програмно-апаратних засобів комп'ютерної системи моделювання задля організації інформаційно-технологічного забезпечення вирішення задач моделювання й обчислення у процесі ціноутворення на ринку електроенергії.

В дисертаційній роботі розроблено методи математичного та комп'ютерного моделювання мультиагентного процесу формування цін у СОТС ціноутворення, програмно-апаратних засобів КСМ для організації інформаційно-технологічного забезпечення щодо вирішення задач моделювання й обчислення у процесі ціноутворення на ринку електроенергії, що визначає її актуальність.

## **2. Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Серед одержаних результатів дисертаційного дослідження, які відрізняються новизною слід виділити такі:

– запропоновано математичний опис процесу ціноутворення у СОТС ціноутворення, як сукупності формалізованих дій з урахуванням реальних особливостей організаційної, технологічної та інформаційної взаємодії суб'єктів ринку електричної енергії;

– розроблено метод вузлової трансформації процесу ціноутворення на ринку електроенергії застосування якого надає можливість здійснювати аналіз цінової динаміки у вузлах всього ланцюгу поточкорозподілу електроенергії та її вартості від виробника до кінцевого споживача, з використанням обчислювальних процедур визначення індексів цін;

– розроблено мультиагентне подання цього процесу у вигляді опису агентів у мультиагентній системі ціноутворення, архітектуру агента в мультиагентній системі ціноутворення ринку електроенергії;

– розроблено метод кількісної оцінки рішень щодо сполучення сегментів ринків електроенергії «на добу наперед» України та європейських бірж електроенергії;

– розроблено математичну модель оптимізаційної задачі моделювання рівноважного стану сегменту ринку «на добу наперед»;

– розроблено структурну організацію програмного забезпечення комп'ютерної системи модулювання процесу ціноутворення у складі інформаційно-моделюючої та інформаційно-розрахункової підсистем, як базової компоненти системи підтримки прийняття рішень.

Положення і висновки відносно суті проблеми, вирішенню якої присвячена робота, обґрунтовані та базуються на коректному використанні методів дослідження та аналізу складних систем – для складання математичного опису СОТС ціноутворення методів математичного лінійного та нелінійного програмування – для побудови комп'ютерних моделей оптимізаційних задач.

Висновки по розділах і по роботі в цілому відповідають змісту дисертації та відображають фактичні результати дисертації. Наведені висновки і рекомендації щодо використання результатів досліджень в цілому по

дисертаційній роботі також достатньо обґрунтовані. Достовірність їх забезпечена 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.

Зазначене вище дозволяє вважати, що в дисертаційній роботі Євдокімова В.А. виконано поставлене завдання вирішення 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.

### **3. Практичне значення отриманих результатів.**

Розроблені математичні та комп'ютерні моделі, які були описані і представлені в дисертаційному дослідженні мають практичне значення. Подані в додатку документи про використання результатів дисертаційної роботи свідчать про те, що вони вже використовуються на енергетичних підприємствах. Для розв'язання оптимізаційної задачі пошуку рівноважного стану ринку «на добу наперед» (РДН) та запропонований алгоритм її ітераційного розв'язку, які пов'язані з визначенням оптимальних цін та обсягів купівлі-продажу електроенергії на РДН знайшли застосування у Оператора ринку та використовуються при проведенні торгів на аукціоні РДН, моніторингу, аналізу та прийняття рішень щодо запровадження нових механізмів ціноутворення на ринку електроенергії. Комп'ютерна система моделювання процесу ціноутворення, яка утворює єдиний програмний продукт організації і розгортання інтерфейсів в режимі онлайн засобами Internet-середовища, використовується енергетичними компаніями, суб'єктами ринку електричної енергії під час вирішення поставлених ними задач аналізу цінової динаміки на ринку, для здійснення прогнозування цін на РДН та вироблення рекомендацій щодо розробки стратегії купівлі-продажу електроенергії.

### **4. Короткий аналіз змісту дисертації, відповідність його поставленим задачам, мова та стиль викладення результатів.**

Матеріали дисертаційної роботи викладено послідовно та логічною з використанням загальноприйнятої науково-технічної термінології. Дисертація складається з вступу, 7 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 310 сторінок.

**У вступі** обґрунтовано актуальність роботи, а також сформована мета, задачі, об'єкт та предмет дослідження. Сформульовано основні положення наукової новизни роботи та їхнє практичне значення. Також вказано особистий внесок здобувача і наведено інформацію про апробацію отриманих результатів.

**У першому розділі** наведено детальний аналіз наукових джерел щодо сучасного стану та проблем математичного, комп'ютерного моделювання

процесу формування цін у складних організаційно-технічних системах ціноутворення, програмно-апаратних засобів комп'ютерної системи моделювання, задля організації інформаційно-технологічного забезпечення вирішення задач із моделювання й обчислення у процесі ціноутворення в умовах енергетичного переходу, пов'язаного з впровадженням сучасних вимог концепції «декарбонізації, децентралізації, діджиталізації» до наявних електроенергетичних систем. Виокремлено коло науково-практичних проблем у функціонуванні сучасних систем ціноутворення на ринку електроенергії.

**У другому розділі** надано математичний опис процесу ціноутворення у СОТС як сукупності формалізованих дій з урахуванням реальних особливостей організаційної, технологічної та інформаційної взаємодії суб'єктів ринку електроенергії. Виділено його стадії, визначені основні етапи створення такого опису. Запропонована архітектура мультиагентного середовища агентів процесу ціноутворення на ринку електроенергії.

**У третьому розділі** запропоновано метод аналізу вузлової трансформації процесу ціноутворення та описані обчислювальні процедури такого процесу. З використанням методу вузлової трансформації розроблено алгоритм аналізу динаміки попиту на електричну енергію на ціноутворюючих сегментах оптового ринку, а також запропоновано метод оцінювання результатів сполучення ринків електроенергії та приклад використання цього методу для оцінювання наслідків сполучення ринків електроенергії України та Молдови.

**У четвертому розділі** створено математичну модель оптимізаційної задачі моделювання рівноважного стану сегменту ринку «на добу наперед» та на підставі цього розроблено обчислювальний алгоритм та програму його реалізації для розв'язання оптимізаційної задачі моделювання рівноважного стану і визначення рівноважної ціни електроенергії на підставі цінових заявок виробників та постачальників електричної енергії.

**У п'ятому розділі** запропоновано прикладні засади створення комп'ютерної системи моделювання процесів прийняття рішень системою ціноутворення ринку електричної енергії в складі бази даних, бази моделей, бази знань і модулів взаємодії з користувачем.

**У шостому розділі** розглянуто питання щодо побудови програмно-апаратного забезпечення комп'ютерної системи моделювання процесу ціноутворення, що реалізована на платформі алгоритмічного моделювання для учасників ринку електроенергії та обрана структура програмних засобів цієї системи. Це забезпечує створення об'єктно-орієнтованого сховища даних та подальшу інтеграцію існуючих та розроблюваних програмних модулів на єдиній основі.

**У сьомому розділі** наведені приклади побудови комп'ютерних моделей та засобів інформаційно-методичного забезпечення комп'ютерної системи моделювання для вирішення прикладних задач аналізу та прогнозу попиту і цін на електроенергію у процесі ціноутворення.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Євдокімова В.А. повністю відповідає паспорту зі спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям – удосконалення методів і засобів математичного та комп'ютерного моделювання. Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Євдокімова В.А. 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. Отже, дотримання принципів академічної доброчесності не викликає сумніву.

## **6. Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.**

Наукові результати дисертації висвітлені у 40 наукових працях, у складі яких: 1 – колективна монографія, яку опубліковано у закордонних виданнях і яка індексується у міжнародній наукометричній базі Scopus; 1 – одноосібна монографія, 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 квартилем Q3; 19 – матеріалів доповідей на наукових конференціях, у тому числі 7 міжнародних, із яких 1 проіндексована у міжнародній наукометричній базі Scopus.

Таким чином, наукові результати дисертаційної роботи можна вважати достатньо висвітленими у наукових публікаціях здобувача.

## **7. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1. Незважаючи на те, що рамки дослідження окреслено доволі широко, на більшу увагу заслуговує той факт, що об'єктом дослідження стає дуже складний процес ціноутворення на ринку електроенергії, а важливість необхідності його вдосконалення не викликає сумніву.

2. Пункт 2.4 дисертації присвячено представленню СОСТ формування цін ринку як мультиагентної системи. Також розроблено імітаційну модель процесу ціноутворення. Але в роботі відсутнє дослідження її застосування на прикладі вирішення практичного завдання, що ускладнює зробити висновок про її адекватність.

3. Там же, у підпункті 2.4.6 представлено комунікаційне середовище агентів мультиагентної системи ціноутворення (рис.2.6). Неясно, яким чином таке середовище пов'язане з комп'ютерною системою моделювання, розробка якого описана в розділі 6.

4. У розділі 7 представлені моделі для вирішення практичних завдань процесу ціноутворення. Не зазначено безпосередньо для вирішення яких завдань

управління попитом на електроенергію вони можуть бути використані. Було б цікаво порівняти запропоновані моделі з традиційними.

5. Варто було б дослідити математичну модель процесу ціноутворення у СОТС ціноутворення як сукупності формалізованих дій з урахуванням реальних особливостей на чутливість до вхідних даних, зокрема цінних показників.

6. Актуальним є перехід від «зеленого тарифу» до аукціонів для відновлюваних джерел енергії. Як це вплине на ринок на добу наперед, коли існують обидва ці підходи, зокрема при профіциті і дефіциті електроенергії в системі? Чи будуть працювати запропоновані в роботі моделі?

7. Щодо загальної оцінки змісту, структури та оформлення результатів роботи. У дисертації зустрічаються граматичні помилки і описки, проте їх кількість не виходить за допустимі межі. Приведені зауваження не є визначальними та не знижують загальний рівень проведених досліджень. Вони не змінюють загальну позитивну оцінку наукової значимості й практичної цінності дисертаційної роботи.

#### **8. Висновок про дисертаційну роботу.**

Дисертаційна робота здобувача ступеня доктора технічних наук Євдокімова Володимира Анатолійовича на тему «Методи та засоби комп'ютерного моделювання мультиагентного процесу ціноутворення в організаційно-технічних системах» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує поставлену науково-прикладну проблему, що має істотне значення для функціонування та розвитку ринку електроенергії та енергетичної галузі в цілому. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені «Порядком присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №1197 від 17 листопада 2021 року. Здобувач Євдокімов Володимир Анатолійович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент:

професор кафедри електричних станцій і систем  
Вінницького національного технічного університету,  
докт. тех. наук, професор

Петро ЛЕЖНЮК

Учений секретар Вченої ради ВНТУ,  
к.т.н., доцент



Інна ВІШТАК