

## **РЕЦЕНЗІЯ**

на дисертаційну роботу

**Полухіна Антона Вячеславовича**

на тему **«Математичні моделі та комп'ютерні засоби визначення прогнозних погодинних обсягів попиту на електроенергію на ринку «на добу наперед»»,**

представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань

12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»

### **Актуальність теми дисертації.**

Запропонована до захисту дисертаційна робота присвячена актуальному науковому дослідженню – розробленню математичних моделей та комп'ютерних засобів прогнозування обсягів попиту на електроенергію на ринку «на добу наперед» (РДН). Актуальність теми дослідження обумовлена потребами менеджменту енергетичних компаній у короткострокових та середньострокових прогнозних оцінках попиту на електроенергію, що формується в ринкових умовах. Наявність достовірних прогнозів дозволяє кожній компанії визначати власну цінову стратегію та запобігати небажаним наслідкам таким, як непродані обсяги електроенергії чи втрачений прибуток, які виникають через недостатню обґрунтованість рішень, прийнятих менеджментом енергетичних компаній. На сьогодні в Україні відсутні загальноприйнятні методики добового прогнозування обсягів споживання електроенергії на одному з ключових сегментів ринку – РДН. Тому, розроблення моделей та комп'ютерних засобів прогнозування попиту на РДН є актуальним дослідженням, спрямованим на підтримку стабільності роботи енергетичних компаній на ринку електроенергії України.

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

У дисертації отримано нові результати, що мають наукову новизну та підтверджені належною аргументацією. Здобувач розв'язав поставлене наукове завдання і продемонстрував володіння методологією наукових досліджень. Автором показано, що попит на електроенергію на РДН залежить від низки факторів (сезонність, день тижня, наявність довгострокових контрактів тощо), які

враховано при побудові моделей прогнозування. У роботі запропоновано дві взаємодоповнюючі математичні моделі прогнозування обсягів попиту на електроенергію: короткострокову (на добу вперед) та середньострокову (на період від місяця до року).

Короткострокова модель базується на аналізі добових графіків обсягів споживання електроенергії за критерієм їх схожості з графіками минулих діб та визначення нетипових (аномальних) графіків з метою блокування їх участі в подальших розрахунках. На множині виокремлених схожих графіків споживання електроенергії обчислюються коефіцієнти ліній тренду обсягів пропозиції, попиту та акцепту електроенергії, які використовуються у формуванні добових прогнозних графіків споживання електроенергії.

Середньострокова модель є екстраполяційною моделлю, в якій використовуються агреговані місячні обсяги виробництва/споживання електроенергії, взяті з прогнозного балансу електроенергії об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України, та обмежений набір добових графіків виробництва електроенергії минулих періодів. Така модель дозволяє виконувати прогнозні розрахунки в умовах війни, коли графіки споживання електроенергії не оприлюднюються і стають недоступними для енергетичних компаній.

Запропоновані моделі короткострокового та середньострокового прогнозування реалізовано у програмних додатках MS Excel та MS SQL Server, відповідно. Розрахункові алгоритми перевірено на фактичних даних українського енергоринку.

Достовірність одержаних наукових результатів не викликає сумнівів, оскільки у дослідженні використано наявну статистичну базу даних ринкових показників та отримано експериментальне підтвердження надійності отриманих алгоритмів прогнозування попиту на електроенергію.

Наукова новизна роботи полягає у розробці математичних моделей коротко- та середньострокового прогнозування добових графіків попиту на електроенергію, придатних для використання в умовах війни, коли добові графіки споживання електроенергії не оприлюднюються і стають недоступними для енергетичних компаній. Оригінальність запропонованих моделей також підтверджується

отриманням авторських свідоцтв на створені комп'ютерні програми та документами, що засвідчують впровадження розробок в АТ «Оператор ринку». Таким чином, дисертантом досягнуто поставленої мети дослідження. Отримані наукові результати є новими та мають важливе практичне значення.

### **Оцінка структури та змісту дисертації, її завершеності та академічної доброчесності.**

Дисертаційна робота має чітку структуру і логіку викладення матеріалу. Поставлене автором наукове завдання реалізовано повністю, здобувач показав зріле володіння інструментами наукової роботи. Дисертація доведена до завершеного вигляду і подана з дотриманням норм академічної доброчесності. Зміст роботи узгоджується зі Стандартом вищої освіти за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки» та цілями освітньо-наукової програми підготовки фахівців відповідного рівня. Представлена дисертація є оригінальним дослідженням з комп'ютерного моделювання та прогнозування. Аналіз звіту про перевірку дисертації на текстові запозичення підтвердив, що дисертаційна робота виконана самостійно (плагіату чи фабрикації не виявлено).

Структура дисертації наступна: вступ; три розділи; висновки; список використаних джерел; додатки.

У кожному розділі простежується логічний зв'язок із попереднім: теоретичні та практичні аспекти викладено послідовно. У вступі чітко сформульовано мету і завдання дослідження, обґрунтовано актуальність теми, окреслено об'єкт, предмет, методи, а також наукову новизну і практичну значущість роботи.

Перший розділ містить огляд наукових публікацій за обраним напрямом дослідження, аналіз поточного стану проблеми прогнозування ринкових показників на добу наперед, включно з розглядом досвіду зарубіжних операторів ринків.

Другий розділ присвячено розробленню математичних моделей: детально описано відомі моделі прогнозування та наведено опис власних моделей.

Третій розділ презентує результати обчислювальних експериментів, проведених з використанням запропонованих моделей. Тут представлено:

- програмний комплекс для автоматизованого прогнозування попиту на електроенергію на РДН;
- результати експериментів, проведених на фактичних даних українського енергоринку, що підтверджують надійність розроблених алгоритмів короткострокового та середньострокового прогнозування добових графіків попиту на електроенергію;
- результати попередньої апробації моделей та оцінки їх адекватності.

Дисертація є цілісною завершеною науковою працею, яка демонструє належний рівень самостійності та компетентності автора в обраному напрямку досліджень.

#### **Мова та стиль викладення.**

Робота виконана українською мовою. Матеріал дисертації подано чітко, науковою мовою з дотриманням стилістичної нейтральності та точності формулювань. Оформлення дисертації (структура, посилання, бібліографія) відповідає встановленим вимогам, що викладені в Наказі МОН України від 12.01.2017 № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

#### **Оприлюднення результатів.**

Основні здобутки дисертаційного дослідження висвітлені:

- у 9-и статтях, опублікованих у фахових наукових виданнях України, а також в міжнародних журналах, що індексуються у наукометричних базах Scopus та/або Web of Science;
- у матеріалах та тезах 7-и наукових конференцій;
- у 2-х авторських свідоцтвах.

Загальна публікаційна активність здобувача складає 18 праць і є достатньою, щоб вважати результати дослідження опублікованими та апробованими в повному обсязі.

## Недоліки та зауваження.

Під час ознайомлення з дисертацією виявлені наступні недоліки та зауваження:

- 1) Термін «точність» використовується автором в якості характеристики прогнозів і моделей на сторінках 4, 5, 6, 23, 28, 48, 65, 67, 68, 69, 70, 93, 102, 105, 109 дисертаційної роботи. Добре відомо, що точність — це характеристика, яка відображає ступінь наближення моделі до реальності, і зазвичай вимірюється за допомогою формальних метрик. По відношенню до окремого типу моделей застосовуються свої метрики для оцінювання їх точності. Проте, формальні метрики, як важливі характеристики існуючих та запропонованих моделей в роботі, не представлено зовсім.
- 2) У представленому на сторінці 7 списку наукових праць, опублікованих за результатами дисертаційного дослідження, під номером 2 наведено посилання на статтю автора в журналі Amazonia Investiga, який позначено таким, що індексується в БД Web of Science, що не відповідає дійсності. Звертаю увагу на те, що Amazonia Investiga – це науковий журнал з відкритим доступом, рецензований, з моделлю безперервного видання та міждисциплінарним фокусом. Головна мета журналу – поширення оригінальних, високоякісних та впливових досліджень, що стосуються сучасних проблем у сферах *освіти, права, державної політики, прикладних технологій та соціальних наук*, тобто він не є фаховим виданням.
- 3) У представленому на сторінці 8 списку наукових праць, опублікованих за результатами дисертаційного дослідження, під номером 4 наведено посилання на статтю автора в журналі AFRICAN JOURNAL OF APPLIED RESEARCH, який помилково позначено таким, що індексується в БД Web of Science. Насправді цей журнал індексується в БД Scopus.
- 4) Формулюючи проблему прогнозування попиту на РДН, на сторінках 19-20 автор посилається на роботу [46], де представлені методи

оцінювання реальності реалізації різних проектів, зокрема в торгівлі токсичними хімікатами, та на ненаукову роботу [41] – це Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо розвитку установок зберігання енергії». Таке формулювання проблеми дослідження не супроводжується достатньою кількістю наукових досліджень і, тому виглядає недостатньо обґрунтованим.

- 5) На сторінці 22 серед методів дослідження, використаних у дисертаційній роботі, автор зазначає неіснуючі в науці методи «функціонального аналізу даних» та «багаторазових ітерацій».
- 6) Знаходяться у протиріччі з контекстом дисертації наступні посилання: [30] на сторінці 27, [95] та [36] на сторінці 28, [90] на сторінці 30, [28] та [31] на сторінці 36, [43] та [45] на сторінці 44, [44] та [47] на сторінці 45, [91] та [93] на сторінці 47, [91] та [92] на сторінці 50, [95] на сторінці 52, [91] та [92] на сторінці 57, [85] та [86] на сторінці 63.
- 7) Неприйнятним є дослідження автором власних публікацій, представленого на сторінках 27-29 підрозділу 1.1, присвяченого аналізу моделей та методів прогнозування попиту на електроенергію.
- 8) Аналізуючи український РДН, автор на сторінці 37 відзначає, що «...особливістю останніх років є зростання частки ВДЕ та відповідний вплив на ринок». Тому «...для комплексних моделей ринку ... важливо врахувати і цю специфіку українського ринку». Таке твердження є некоректним, оскільки зазначені впливи ВДЕ спостерігаються на ринках багатьох країнах світу, не лише на українському.
- 9) Аналіз алгоритмів прогнозування цін та попиту на РДН, що застосовуються на європейських енергетичних ринках, обмежений розглядом в розділі 2 лише алгоритму EURHEMIA. Альтернативні та доповнюючі його алгоритми, які активно досліджуються для вирішення обмежень алгоритму EURHEMIA, як і самі обмеження, в роботі не проаналізовані.
- 10) На сторінці 49 дисертаційної роботи автор протиставляє стохастичні моделі статистичним та стверджує, що «На відміну від

«детерміністичних» статистичних моделей, що дають єдиний прогнозний сценарій, стохастичні підходи описують розподіл можливих результатів і динаміку системи як випадковий процес». Таке протиставлення є некоректним, оскільки обидва типи моделей працюють з випадковістю, невизначеністю та ймовірнісними величинами. Вони використовують схожі математичні інструменти — розподіли, очікування, дисперсії тощо. Прогнози, отримані за допомогою статистичних моделей не є детермінованими, вони є невизначеними в межах довірчих інтервалів.

- 11) Формули (2.8.1.1) – (2.8.1.3), представлені на сторінці 75, некоректно відображають зв'язки між множинами тижнів і діб, на яких визначаються зазначені прирости обсягів електроенергії.
- 12) В формулах (2.8.1.4) – (2.8.1.9), представлених на сторінці 75, не зазначені індекси в операторах підсумовування.
- 13) В формулах (2.8.1.10) – (2.8.1.12), представлених на сторінці 76, не відображено зв'язки між множинами тижнів і діб, на яких визначаються середньоарифметичні обсяги електроенергії, та не зазначаються індекси в операторах підсумовування.
- 14) У висновках до розділу 2 на сторінках 86-87 міститься необґрунтоване твердження про те що запропонована модель короткострокового прогнозування попиту на електроенергію на РДН зменшує «...викривлення результатів прогнозування».
- 15) Наведені на сторінці 118 у пункті 2 висновків оцінки похибок запропонованого алгоритму короткострокового прогнозування попиту на РДН не є узагальненими і стосуються лише обраного набору статистичних даних для однієї доби січня 2024 року. На жаль, автором не проведено порівняння точності такого алгоритму з точністю будь-якого відомого алгоритму прогнозування.
- 16) Наведені на сторінці 119 у пункті 3 висновків оцінки похибок запропонованого алгоритму середньострокового прогнозування попиту на РДН не є узагальненими і стосуються лише обраного набору

статистичних даних, використаних для прогнозування попиту на електроенергію впродовж лише 2023 року.

Виявлені недоліки та зауваження не стосуються наукової новизни та практичної значимості проведеного дослідження і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Висновок.**

Дисертаційне дослідження здобувача ступеня доктора філософії Полухіна Антона Вячеславовича на тему «Математичні моделі та комп'ютерні засоби визначення прогнозних погодинних обсягів попиту на електроенергію на ринку «на добу наперед»» за своїм змістом, науковим рівнем і отриманими результатами 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.

Дисертація виконана на високому науковому рівні з дотриманням академічних норм і вирішує наукове завдання, що є важливим для галузі знань 12 «Інформаційні технології». Рекомендую присудити Полухіну Антону Вячеславовичу ступінь доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

### **Рецензент:**

головний науковий співробітник відділу  
математичного і економетричного моделювання  
Інституту проблем моделювання в  
енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України,  
чл.-кор. НАН України, д.т.н., проф.

Сергій САУХ