

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Клюзка Олексія Івановича

на тему «Моделювання задач купівлі-продажу електроенергії компаніями постачальниками в ринкових умовах», представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 12 - Інформаційні технології за спеціальністю 122 - Комп'ютерні науки.

Актуальність теми дисертації

У сучасних умовах роботи ринку електроенергії особливого значення набуває діяльність компанії-постачальника електричної енергії, яка виступає проміжною ланкою між оптовим і роздрібним сегментами ринку, забезпечуючи закупівлю електроенергії на різних ринкових майданчиках, формування портфелю замовлень. Окрім того, постачальник несе фінансову відповідальність за дотримання балансу споживання електроенергії. Особливості функціонування ринків електричної енергії в країнах Європейського Союзу, а також специфіка роботи постачальника в Україні вказують на залежність від якості прогнозування погодинного споживання, здатності формувати економічно обґрунтований портфель закупівель та мінімізувати ризики небалансів. Ефективність роботи постачальника безпосередньо залежить від оптимальності прийнятих рішень в умовах високої волатильності ринку та технічної невизначеності енергосистеми, особливо в умовах України через воєнні дії. При цьому навіть у мирний час попит визначається добовою та сезонною нерівномірністю, погодними умовами та структурою споживачів, а в умовах воєнного стану додаються аварійні та стабілізаційні відключення, пошкодження енергетичної інфраструктури, різкі структурні зміни в профілях навантаження. Це потребує здатності оперативно коригувати торгову позицію, адаптуючись до нестаціонарних режимів роботи енергосистеми, та обирати оптимальний набір пропозицій ринку, що відповідав би графіку споживання електроенергії. Це потребує адекватного прогнозування потреб, врахування пікових та індивідуальних графіків навантаження. Зазначені обставини істотно ускладнюють процес прийняття рішень постачальником та зумовлюють необхідність застосування спеціалізованих моделей підтримки рішень. Особливої ваги набуває задача короткострокового погодинного прогнозування попиту, що важливо для ринку «на добу наперед», внутрішньодобового та балансуючого ринків. Наявний науковий інструментарій не дозволяє повною мірою врахувати специфічні умови та обмеження енергетики України, коли традиційні методи прогнозування без урахування кризових чинників виявляються недостатньо адекватними, а помилки прогнозу означають фінансові втрати постачальника через небаланси та неефективну структуру закупівель.

Таким чином, тематика дисертаційної роботи, спрямована на розроблення інтегрованої математичної моделі ринкової поведінки постачальника, має високу актуальність, а також відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки України.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Основні положення дисертації, висновки і рекомендації досить обґрунтовані. Теоретичні дослідження базуються на використанні підходів системного аналізу, методів статистичного аналізу та обробки часових рядів, методів машинного навчання для побудови моделей короткострокового прогнозування, методів лінійного та змішаного цілочисельного програмування в оптимізаційних задачах. Використано методи обчислювального експерименту з подальшим аналізом результатів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- *вперше* розроблено модель прогнозування погодинних обсягів електроспоживання, в якій використано переваги алгоритму Random Forest та враховано додаткові обмеження, що дозволило адаптувати таку модель до умов аварійних та стабілізаційних відключень і підвищити її адекватність;
- *вперше* розроблено оптимізаційну модель формування портфеля купівлі-продажу електричної енергії компанією-постачальником, яка одночасно враховує прогнозні погодинні обсяги споживання, цінові параметри та ринкові обмеження, що дозволяє зменшити витрати на закупівлю електричної енергії;
- *вперше* розроблено комп'ютерну модель підтримки прийняття рішень компанією-постачальником електричної енергії, яка забезпечує комплексне вирішення задач прогнозування погодинних обсягів електроспоживання та оптимізації портфеля купівлі-продажу електроенергії, що дозволяє зменшити витрати на закупівлю електроенергії та підвищити ефективність управління компанією-постачальником.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання щодо розроблення інтегрованої змішаної моделі підтримки прийняття рішень компанії-постачальника електричної енергії для оптимізації портфелю купівлі-продажу електроенергії з урахуванням ринкових обмежень України і змін в короткострокових прогнозах споживання та впливу військових дій, виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача **Клюзка Олексія Івановича** повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 122 - Комп'ютерні науки, та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Комп'ютерні науки».

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

Дисертаційна робота є результатом самостійних досліджень здобувача і не порушує принципів академічної доброчесності. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою в логічному стилі подання матеріалу. Результати роботи представлено чітко та послідовно, основні положення аргументовані належним чином. Текст роботи викладено науковим стилем мовлення, технічно грамотно, і використана переважно загальноприйнята термінологія. Для іншомовних термінів, які не мають усталених відповідників, додано оригінальні назви.

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Основний зміст викладений на 136 сторінках друкованого тексту, загальний обсяг дисертації 180 сторінок.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, викладено основні положення наукової новизни та практичного значення.

У *першому* розділі досліджено особливості функціонування ринку електричної енергії, зокрема структуру ринку, механізми ціноутворення та роль постачальника. Проаналізовано вплив зовнішніх факторів на функціонування енергосистеми та діяльність учасників ринку. Визначено особливу роль компанії-постачальника як ключового комерційного суб'єкта ринку, окреслено задачі наукового дослідження.

У *другому* розділі проведено аналіз сучасних методів прогнозування електроспоживання, включаючи статистичні методи, моделі машинного навчання та глибинні нейронні мережі. Вказано на недоліки застосування лише окремих класів моделей, обґрунтовано вибір підходу на основі ансамблевих методів та розробленні інтегрованої змішаної моделі.

У *третьому* розділі описано розроблені модель прогнозування електроспоживання та оптимізаційну модель формування портфеля купівлі-продажу електроенергії. Представлено інтегровану модель системи підтримки прийняття рішень постачальником електричної енергії, що поєднує підготовку даних, прогнозування споживання, урахування впливу обмежень таких обсягів електропостачання та забезпечує оптимальне формування портфеля купівлі-продажу електроенергії.

У *четвертому* розділі описано програмну систему Energy AI, яка реалізує запропоновані методи прогнозування та оптимізації портфеля купівлі-продажу електроенергії та може використовуватись, як інструмент підтримки управлінських рішень компанії-постачальника; представлено результати

експериментальних досліджень, що підтверджують ефективність пропонованих рішень.

У висновках наведено основні результати дослідження.

Розділи дисертації логічно пов'язані між собою і є цілісним дослідженням. 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 висвітлені у 13 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 5 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; з свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір. Також результати дисертації були апробовані на 5 наукових фахових конференціях.

Публікації здобувача оформлені на достатньому науковому рівні, фактів порушення принципів академічної доброчесності не виявлено. Основні результати дослідження, що відображають особистий внесок здобувача, достатньою мірою відображені в розділах дисертації.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Робота містить розлогий огляд публікацій, дотичних до тематики дослідження, однак не зазначено про вітчизняних дослідників та їх вклад; до прикладу, відповідні дослідження виконувалися в Інституті електродинаміки НАН України, КПІ ім. І.Сікорського, тощо.

2. Значну частину дослідження займає огляд нормативно-правової бази (розділ 1), та публікацій інших дослідників (розділ 2), разом з тим не акцентовано увагу, де саме використано результати цього аналізу, зокрема як втілена позитивно оцінена кластеризація у програмному комплексі Energy AI.

3. Хоча дослідження спрямоване на прогнозування рівнів споживання, важливою складовою є також передбачення джерел покриття навантаження, зокрема це містить модуль 2 комплексу Energy AI. Однак значну частину генерації наразі складають відновлювані джерела енергії, особливо сонячні електростанції (станом на 2025 р. офіційно працювали понад 25 тис. домашніх СЕС, окрім промислових установок ВДЕ), завдяки цьому вже сформовано категорію активних споживачів, тобто рівень споживання потребує врахування інших погодних факторів окрім температури (зокрема вітру, сонячної радіації) – така потреба дисертантом не відображена.

4. Мінливість відновлюваної генерації потребує прогнозування погоди, для чого потрібно залучення прогнозів метеослужб, однак в роботі вхідні дані обмежено статистичним аналізом наявних даних – так, метеодані надходять на вхід комплексу Energy AI, але поточні і лише температура повітря; *LS*-фактор як додаткова опція кількісно характеризується лише оперативним станом

мережі, а не генерації, хоча саме варіативна генерація здатна впливати на оптимальність закупівель електроенергії. Застосування лише статистичних методів (навчання на вибірках спостережень) обмежує практичну цінність пропонованих підходів.

5. Викладення матеріалу загалом чітке та стилістично виважене, проте присутня певна кількість орфографічних та лексичних помилок, наприклад: пропущено слово «енергії» в назві розділу III; вжито термін «біуровнева» замість «дворівнева»; в посиланнях на публікації [22] і [24] на с.116 зміщено реальні номери статей у списку, і ін. Однак це не впливає на розуміння тексту.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними, мають переважно рекомендаційний характер, не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів і лишають позитивною загальну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії **Клюзка Олексія Івановича** на тему «Моделювання задач купівлі-продажу електроенергії компаніями постачальниками в ринкових умовах» 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 обраної теми, обсягом та рівнем виконаних досліджень, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.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. Автор дисертаційної роботи, здобувач **Клюзко Олексій Іванович** заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 – Інформаційні технології, за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки.

Офіційний опонент:

заступник директора з наукової роботи

Інституту відновлюваної енергетики НАН України,

член-кореспондент НАН України, д.т.н.

Микола КУЗНЕСЦОВ

«28» липи 2026 року

