

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Клюзка Олексія Івановича

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

Актуальність теми дисертації

Функціонування ринку електричної енергії України характеризується високою ціновою волатильністю, значною невизначеністю попиту та вираженим впливом зовнішніх дестабілізуючих чинників на профілі електроспоживання. Компанія-постачальник, виступаючи проміжною ланкою між оптовим і роздрібним сегментами ринку, несе фінансову відповідальність за баланс обсягів купівлі-продажу електричної енергії, а помилки прогнозування погодинного попиту безпосередньо трансформуються у фінансові втрати через небаланси та неефективну структуру закупівель.

В умовах воєнного стану ця проблема суттєво загострюється: аварійні та стабілізаційні відключення, пошкодження об'єктів енергетичної інфраструктури та різкі структурні зміни у графіках навантаження призводять до того, що традиційні моделі короткострокового прогнозування, побудовані виключно на календарних, часових і погодних ознаках, втрачають адекватність. Це зумовлює необхідність розроблення моделей прогнозування, здатних явно враховувати кризові фактори, та інтеграції прогнозного контуру з оптимізацією закупівельного портфеля постачальника.

Таким чином, обрана тематика дисертаційної роботи, спрямована на розроблення інтегрованої моделі підтримки прийняття рішень для компанії-постачальника електричної енергії на основі поєднання методів прогнозування електроспоживання з урахуванням кризових чинників та оптимізації портфеля купівлі-продажу електричної енергії, є актуальною та спрямованою на розв'язання важливого науково-прикладного завдання, що відповідає змісту спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» та сучасним потребам енергетичної галузі України.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Обґрунтованість отриманих наукових положень дисертації підтверджується коректним застосуванням методів системного аналізу, статистичної обробки часових рядів, машинного навчання (алгоритм Random Forest), формування ознак та методів лінійного і змішаного цілочисельного програмування для розв'язання задачі оптимізації закупівельного портфеля. Достовірність результатів забезпечується обчислювальними експериментами на реальних даних електроспоживання трьох регіонів України, порівнянням прогнозних і фактичних значень, а також практичним впровадженням розробленої програмної системи Energy AI.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Вперше розроблено модель прогнозування погодинних обсягів електроспоживання на основі алгоритму Random Forest, у якій, на відміну від існуючих аналогів, введено LS-фактор як додатковий екзогенний параметр, що дозволило адаптувати модель до умов аварійних і стабілізаційних відключень електропостачання та підвищити її адекватність у кризових режимах роботи енергосистеми.

2. Вперше розроблено оптимізаційну модель формування портфеля купівлі-продажу електричної енергії компанією-постачальником, яка одночасно враховує прогнозні погодинні обсяги споживання, цінові параметри окремих сегментів ринку та ринкові обмеження, властиві енергоринку України, що дозволяє знижувати витрати на закупівлю електроенергії.

3. Дістала подальшого розвитку методологія побудови комп'ютерних систем підтримки прийняття рішень постачальника електричної енергії за рахунок поєднання прогнозного і оптимізаційного контурів у єдиному програмному комплексі Energy AI, що забезпечує наскрізний цикл обробки даних від прогнозування погодинного попиту до формування оптимального плану закупівель.

Практична цінність дисертації полягає в тому, що:

1. Розроблені моделі прогнозування призначені для використання компаніями-постачальниками для підвищення точності погодинного планування попиту, у тому числі в умовах воєнного стану.

2. Оптимізаційна модель портфеля закупівель дозволяє знижувати витрати постачальника на придбання електричної енергії та скорочувати обсяги небалансів за рахунок диверсифікації джерел закупівлі.

3. Розроблений програмний комплекс Energy AI впроваджено у практичну діяльність ТОВ «Енергетична мережа» та ДП «Купер Енерджі Україна», що підтверджується відповідними листами про використання результатів дисертаційного дослідження та засвідчує прикладну придатність запропонованих моделей.

Отже, у дисертаційній роботі поставлене наукове завдання щодо розроблення моделей і методів прогнозування електроспоживання та оптимізації портфеля купівлі-продажу електроенергії компанією-постачальником в умовах ринку вирішено повністю. Здобувач продемонстрував здатність формалізувати прикладну задачу, будувати математичні та комп'ютерні моделі і перевіряти їх шляхом обчислювальних експериментів.

Оцінка змісту дисертації, її структури та завершеності роботи

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Ключка О. І. відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки». Дисертаційна робота є завершеною науковою працею прикладного характеру, у якій поряд із розв'язанням практично значущого завдання належним чином

представлено математичну та алгоритмічну складові, необхідні для спеціальності 122 «Комп'ютерні науки», що включають формалізацію задач прогнозування й оптимізації та їх програмну реалізацію. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «Інформаційні технології».

Аналіз результатів перевірки дисертаційної роботи на предмет дотримання принципів академічної доброчесності дає підстави стверджувати, що дисертаційна робота є результатом самостійного дослідження здобувача та не містить ознак фальсифікації, фабрикації чи неправомірних запозичень. Всі результати та матеріали інших авторів супроводжуються відповідними посиланнями на джерела.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою, науковим стилем, послідовно і в цілому технічно грамотно. Матеріал викладено у логічній послідовності: від аналізу ринку електричної енергії та ролі постачальника до огляду існуючих методів прогнозування й оптимізації, побудови власних моделей та їх програмної реалізації. Структура роботи відповідає поставленій меті та завданням дослідження.

Дисертаційна робота обсягом 185 сторінок (основний текст: 162 сторінки) має логічну структуру, що послідовно розкриває тему дослідження. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку зі 113 використаних джерел та 5 додатків, містить 17 рисунків і 14 таблиць.

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

У *першому* розділі досліджено особливості функціонування ринків електричної енергії ЄС та України, розкрито роль компанії-постачальника як ключового комерційного суб'єкта ринку та сформульовано задачі управління такою компанією в умовах конкурентного середовища.

У *другому* розділі проаналізовано сучасні методи математичного моделювання ринкової поведінки постачальника електроенергії, зокрема статистичні моделі часових рядів, методи кластеризації, машинного та глибинного навчання, а також методи лінійного, нелінійного і стохастичного програмування у задачах оптимізації портфелів купівлі-продажу електроенергії. Обґрунтовано вибір ансамблевого методу Random Forest як базового інструменту прогнозування.

У *третьому* розділі описано розроблені моделі, а саме: модель погодинного прогнозування електроспоживання на основі алгоритму Random Forest, підхід до врахування LS-фактора в умовах аварійних і стабілізаційних відключень та оптимізаційну модель формування закупівельного портфеля постачальника на сегментах ринку електричної енергії України.

У *четвертому* розділі описано програмний комплекс Energy AI, який реалізує запропоновані підходи, наведено результати обчислювальних експериментів на реальних даних трьох регіонів України та проаналізовано ефективність запропонованих моделей у сценаріях мирного часу та воєнних дій.

У висновках узагальнено основні результати дисертаційного дослідження.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до загальних вимог до кваліфікаційних наукових праць. 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 10 наукових публікаціях здобувача, з яких 5 статей опубліковано у наукових фахових виданнях України та 5 тез доповідей на всеукраїнських і міжнародній науково-технічних конференціях.

Практичне значення результатів додатково підтверджується трьома свідоцтвами про реєстрацію авторського права на твір та листами про впровадження програмного комплексу Energy AI у діяльність ТОВ «Енергетична мережа» і ДП «Купер Енерджі Україна». Публікації відповідають темі дисертації та достатньою мірою відображають її основні наукові результати.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. У прогностичній моделі серед метеорологічних чинників фактично використовується температура повітря. Водночас, з огляду на розвиток розосередженої генерації та активних споживачів, обсяги споживання електричної енергії можуть залежати також від інших метеорологічних факторів, зокрема сонячної радіації, хмарності та швидкості вітру. Врахування зазначених факторів могло б стати предметом подальшого вдосконалення запропонованої прогностичної моделі.

2. У підрозділі 3.2 опис компонентів LS-фактора потребує більш чіткого термінологічного та формального узгодження. Зокрема, в різних фрагментах роботи окремі його складові характеризуються через різні показники: рівень або чергу обмежень, кількість знеструмлених фаз, кількість населених пунктів чи споживачів без електропостачання. Оскільки LS-фактор є одним із ключових елементів запропонованої прогностичної моделі, доцільно було б подати його компоненти та спосіб їх формування більш однозначно.

3. В обчислювальних експериментах розділу 4 значення LS-фактора використовуються для формування прогнозу та оцінювання його точності. У зв'язку з цим доцільно було б більш детально пояснити, яким чином значення цього фактора передбачається отримувати на горизонті прогнозування в реальних умовах експлуатації, коли інформація щодо майбутніх аварійних або стабілізаційних відключень може бути відсутньою або неповною. Це питання є важливим для оцінювання практичної застосовності запропонованої моделі.

4. Валідацію запропонованих моделей доцільно було б розширити шляхом використання даних більшої кількості регіонів та довшого періоду спостережень, що охоплює повний річний цикл. Це дозволило б більш переконливо оцінити стійкість моделей до регіональних особливостей і сезонних коливань електроспоживання.

5. Текст дисертаційної роботи в цілому викладено чітко та послідовно. Водночас у роботі трапляються окремі стилістичні, термінологічні та редакційні неточності, які не мають принципового характеру та не впливають на загальне розуміння змісту роботи.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Ключка 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 і 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, передбаченим у пунктах 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 Ключко Олексій Іванович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Офіційний опонент:

завідувач відділу
теоретичної електротехніки та
діагностики електротехнічного обладнання
Інституту електродинаміки
Національної академії наук України,
д.т.н., професор



Євген ЗАЙЦЕВ

Підпис засвідчую

Вчений секретар
Інституту електродинаміки НАН України



Марина ГУТОРОВА

« 18 » серпня 2026 року.

