

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»  
Факультет енергетики та інформаційних технологій  
Кафедра енергозберігаючих технологій та енергетичного менеджменту

**ДИПЛОМНА РОБОТА**  
на тему:  
**ВДОСКОНАЛЕННЯ ОЦІНКИ РЕАГУВАННЯ  
ПОПИТУ СПОЖИВАЧІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ  
ЕФЕКТИВНОСТІ РИНКУ**

**Виконав:**

здобувач вищої освіти денної форми навчання  
освітнього ступеня «Магістр», освітньо-професійної  
програми «Енергетичний менеджмент» спеціальності  
141 «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»

\_\_\_\_\_ **Владислав ЦВІТОК**

Керівник: **канд. економічних наук, доцент**

\_\_\_\_\_ **Андрій ПЕЧЕНЮК**

**Оцінка захисту:**

Національна шкала \_\_\_\_\_

Кількість балів \_\_\_\_\_ Шкала ECTS \_\_\_\_\_

**Допускається до захисту:**

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

Керівник проектної групи (гарант  
освітньої програми) «Енергетичний  
менеджмент»

спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»

доктор сільськогосподарських наук,

кандидат технічних наук, доцент

\_\_\_\_\_ **Олег ТКАЧ**

Кам'янець-Подільський, 2023 р.

## ЗМІСТ

	ВСТУП.....	8
1	КОНЦЕПЦІЯ УПРАВЛІННЯ ПОПИТОМ НА БОЦІ КІНЦЕВОГО СПОЖИВАЧА В РИНКОВИХ УМОВАХ.....	11
	1.1. Сучасні тенденції в світовому електроенергетичному секторі .....	11
1.2	Характеристика довгострокових та короткострокових програм управління попитом на електроенергію.....	16
	1.3 Класифікація програм реагування попиту.....	18
	1.4 Участь кінцевих споживачів в управлінні попитом на електроенергію....	24
	1.6 Світовий досвід дослідження концепції керування попитом .....	30
2	МЕТОДОЛОГІЯ ТА МЕТОДИ АНАЛІЗУ ВПЛИВУ ПРОГРАМИ РЕАГУВАННЯ ПОПИТУ НА КРИВУ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЮ	32
	2.1 Основні методологічні підходи проведення аналізу .....	32
	2.1.1 Системний підхід .....	32
	2.1.2 Сценарний аналіз.....	33
	2.1.3 Порівняльний аналіз .....	37
	2.2 Методи прогнозування .....	37
	2.3 SWOT-аналіз.....	39
	2.4 Застосування інструментів програмного забезпечення.....	40
	2.5 Статистичні методи.....	41
	2.5.1 Біноміальний розподіл.....	41
	2.5.2 Закон розподілу Пуассона.....	43
	2.5.3 Гіпергеометричний розподіл.....	43
	2.5.4 Рівномірний закон розподілу .....	44
	2.5.5 Нормальний закон розподілу .....	45
3	МЕТОДИ КЕРУВАННЯ ПОПИТОМ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕОРІЇ ІГОР	49
	3.1 Концепція інформаційно-телекомунікаційних технологій та смарт-лічильники.....	49
	3.2 Динамічне ціноутворення.....	50
	3.3 Планування роботи приладів та управління ними.....	52

3.4 Концепції теорії ігор та математична модель.....	53
4. МОДЕЛЮВАННЯ ЙМОВІРНІСНОГО ЕФЕКТУ ВПЛИВУ ПРОГРАМ РЕАГУВАННЯ ПОПИТУ НА КРИВУ ЕНЕРГОНАВАНТАЖЕННЯ.....	56
4.1 Реакція попиту на зміну цінового сигналу на конкурентному ринку електроенергії .....	56
4.2 Модель реагування попиту за наявної можливості накопичення енергії .	60
4.3 Аналіз ймовірнісного впливу виробництва електроенергії ВДЕ на реагування попиту на електроенергію .....	64
5 ІННОВАЦІЙНІ РІШЕННЯ В СФЕРІ РЕАГУВАННЯ ПОПИТУ НА ЗМІНУ ЦІНОВОГО СИГНАЛУ (СТАРТАП-ПРОЕКТ).....	69
5.1 Опис ідеї проекту .....	69
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту .....	72
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту .....	73
5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	76
5.5 Маркетингова програма стартап-проекту.....	77
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	83
ДОДАТКИ.....	85

## ВСТУП

### **Актуальність теми.**

Протягом наступних десятиліть широке впровадження стабільної електрифікації розглядається як ключовий крок у відмові від використання вугільних джерел енергії. Наприклад, у сфері транспорту традиційні автомобілі, які працюють на пальному, можуть бути замінені електричними транспортними засобами, а для опалювання можуть використовуватись електричні теплові насоси або конвектори.

Однак це збільшення споживання електроенергії створює проблеми для електричних мереж. Одна з таких проблем - необхідність належного масштабування мережі для забезпечення максимального попиту на електроенергію. Із зростанням споживання електроенергії може також зростати пікове навантаження. Важливим аспектом управління попитом є зниження цих пікових навантажень за рахунок перенесення споживання електроенергії на менш пікові періоди, де це можливо.

У світі спостерігається тенденція до переходу до лібералізованих ринків електроенергії, що розширює можливості кожного з учасників ринку.

Навіть в Україні, з прийняттям закону "Про ринок електричної енергії", розпочався процес лібералізації ринку. Це складний процес, який може зайняти кілька років. Для досягнення поставленої мети потрібні значні правові, економічні, технічні та організаційні зміни.

Споживання електроенергії населенням становить значну частину загального електроспоживання, тому ця категорія споживачів має значний вплив на криву навантаження.

Необхідно моделювати можливі сценарії поведінки споживачів для забезпечення взаємодії попиту та пропозиції на лібералізованому ринку. Проблемою є добовий графік електричного навантаження, зокрема його піки та провали. Зі зростанням тарифів на електроенергію споживачі шукають способи зменшення витрат.

У майбутньому для ефективного розподілу потоків електроенергії та вирівнювання графіка може бути використана концепція "розумних мереж". Домогосподарства можуть бути активними споживачами, що можуть як

купувати, так і продавати енергію, наприклад, отриману від сонячних панелей чи збережену в акумуляторах. Для цієї мети можуть бути використані батареї електромобілів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Актуальність теми даного дослідження може бути підтверджена результатами робіт таких визначних дослідників у сфері електротехніки та електроніки, як Інститут інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE), Antimo Barbato, Italo Atzeni, Zubair Md. Fadlullah, а також вітчизняних науковців, таких як М. Згуровський, В. Лір, С. Денисюк. Їхні дослідження та публікації відображають важливість проблеми ефективного управління споживанням електроенергії та розвитку лібералізованих ринків електроенергії. Їхні внески у цю галузь науки дозволяють уточнити та розвинути методи та концепції, що використовуються в дослідженні споживання електроенергії та управлінні електромережами.

**Мета дослідження:** вдосконалення підходів до оцінки реагування попиту споживачів для підвищення ефективності ринку.

**Завдання дослідження:**

- Аналіз поточних тенденцій у галузі електроенергетики на світовому рівні та розгляд концепцій управління попитом електроенергії.
- Вибір методів для аналізу змін у попиті на електроенергію.
- Проведення досліджень режимів роботи споживачів електроенергії.
- Формулювання та оцінка можливих сценаріїв поведінки споживачів.
- Визначення впливу зміни поведінки споживачів на криву електроспоживання.

**Об'єкт дослідження:** режими роботи споживача електроенергії в ринкових умовах.

**Предмет дослідження:** оцінка реакції попиту на зміну цінового сигналу на конкурентному ринку електроенергії.

**Методи дослідження.** У магістерській роботі було використано системний підхід для аналізу проблеми, проведено сценарний аналіз поведінки споживачів електричної енергії, здійснено порівняльний аналіз різних сценаріїв та використано методи прогнозування попиту, зокрема моделювання. Для проведення SWOT-аналізу стартап-проекту використано

програмне середовище MATLAB, а також були використані елементи теорії ймовірності.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Був запропонований метод прогнозування електричного споживання домогосподарств, що ґрунтується на принципах нормального закону розподілу з теорії ймовірності. Цей метод можна розглядати як поліпшення існуючих методів прогнозування навантаження. На основі цього методу була розроблена модель і показані можливі сценарії поведінки групи домогосподарств. Отриманий спосіб прогнозування навантаження може бути подальше вдосконалено і покращено, враховуючи унікальні особливості кожного окремого домогосподарства та його власний графік споживання.

**Практичне значення отриманих результатів.** Після узагальнення та корекції отримана модель прогнозування величини електричного навантаження може бути використана операторами систем розподілу електроенергії.

**Апробація результатів та публікації.** На основі матеріалів, використаних в процесі дослідження було зроблено доповідь на конференції «Ефективне використання енергії стан і перспективи»

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дана дослідницька робота була проведена з урахуванням глобальних тенденцій на енергетичному ринку, зокрема зростання попиту на електроенергію та збільшення використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Збільшення споживання призводить до зростання піків енергонавантаження, що стає актуальною проблемою для енергетичних компаній і призводить до підвищення вартості електроенергії. У зв'язку з цим виникає потреба у керуванні попитом з метою зниження пікових навантажень та вирівнювання графіків енергоспоживання.

Додатково, важливим є прогнозування та планування роботи електроприладів як у короткотривалій, так і в довготривалій перспективі. Прогнозні дані використовуються енергетичними компаніями для розробки операційних планів електростанцій та розв'язання питань безпеки. Зокрема, зростаюча генерація електроенергії з ВДЕ створює додаткові виклики через нерегульовані обсяги виробництва.

Прогнозоване та регульоване навантаження набуває все більшої ваги у роботі енергетичних систем. Передбачається, що у майбутньому енергетичні компанії розпочнуть застосовувати динамічне ціноутворення, пов'язане з реальною виробничою вартістю електроенергії. Це стане формою керування попитом, оскільки споживачі будуть шукати найнижчі ціни та уникати пікових значень. Результати такого підходу були досліджені в даній роботі з використанням теорії ймовірності. В ході дослідження були отримані наступні висновки.

1. У роботі використано різноманітні методи, такі як системний підхід, порівняльний аналіз, сценарний підхід, прогнозування, комп'ютерне моделювання, SWOT-аналіз, а також елементи статистичних методів.
2. Була розглянута можливість прогнозування поведінки споживачів за допомогою теорії ігор. Проте, через складність розрахунків, необхідність збору інформації в реальному часі та високу вартість реалізації, ця ідея була відкинута.
3. Для аналізу споживання електроенергії домогосподарствами була створена комп'ютерна модель з переліком споживачів, що базується на інформації про

рівні потужності пристроїв та орієнтований (можливий) час роботи.

Фінальний процес моделювання відбувається з використанням теорії ймовірності.

4. Було розроблено та проаналізовано кілька сценаріїв поведінки споживачів, включаючи базовий, з електромобілями, зі зміщеним навантаженням та з акумуляцією енергії.
5. Було оцінено ефект переміщення навантаження на нічний період та використання батарей електромобілів для накопичення енергії.
6. Запропоновано використання моделі для прогнозування енергетичного навантаження протягом доби для домогосподарств.
7. Показано можливості розширення та доповнення моделі.
8. Представлено можливості оцінки впливу ВДЕ на графік енергонавантаження шляхом встановлення сонячних електростанцій в приватних домогосподарствах.
9. Запропоновано використання ідеї прогнозування навантаження для операторів електричних мереж.
10. Розроблено стартап-проект, метою якого є встановлення в приватних домогосподарствах станцій для зарядження електромобілів, які в той же час можуть працювати у зворотному напрямі та забезпечувати живлення домогосподарства з використанням батарей.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1.) Міжнародна енергетична агенція [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.iea.org/>
- 2.) Demand side management in smart grid: A review and proposals for future direction. Linas Gelazanskas, Kelum A.A. Gamage
- 3.) Load curve classification for the evaluation of demand side management programs K Yumak , G Tosun , B Varlik and M Bağrıyanık. Ankara, Turkey
- 4.) Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads Peter Palensky, Senior Member, IEEE, and Dietmar Dietrich, Senior Member, IEEE
- 5.) НЕК «УКРЕНЕРГО» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ua.energy>
- 6.) Economic and environmental implications of demand-side management options Amit Garg a,n , Jyoti Maheshwari , Diptiranjana Mahapatra, Satish Kumar
- 7.) Electric vehicle charge patterns and the electricity generation mix and competitiveness of next generation vehicles Taisuke Masuta, Akinobu Murata, Eiichi Endo
- 8.) Yale Environment 360 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://e360.yale.edu>
- 9.) Perspectives on Norway’s supercharged electric vehicle policy Erik Figenbaum
- 10.) A review of demand-side management policy in the UK Peter Warren UCL Energy Institute, Central House, 14 Upper Woburn Place, London, UK
- 11.) Лімонова Л. О. Системний підхід як методологічна основа дослідження, аналізу та моделювання соціально-економічних систем [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://dl.nure.ua>
- 12.) Сценарний аналіз як системна методологія передбачення / М.З. Згуровський // Систем. дослідж. та інформ. технології. — 2002. 1. С. 7-38.
- 13.) Основи методології та організації наукових досліджень: Навч. посіб. для студентів, курсантів, аспірантів і ад’юнтів / за ред. А. Є. Конверського. — К.: Центр учбової літератури, 2010. — 352 с. (С. 28-35)

- 14.) Weather data and software for solar power investments [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [www.solargis.info](http://www.solargis.info)
- 15.) Майсак О. С. SWOT-анализ: объект, факторы, стратегии. Проблема поиска связей между факторами // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. — 2013. — № 1 (21). — С. 151—157
- 16.) Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов. — 6-е изд. стер. — М.: Высш. шк., 1999.— 576 с.
- 17.) Marcelo Espinoza, Caroline Joye, Ronnie Belmans, Bart De Moor, "Short- Term Load Forecasting, Profile Identification and Customer Segmentation: A Methodology based on Periodic Time Series," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 20, no. 3, pp. 1622-1630, 2005.
- 18.) Waleed K. A. Najy, Jacob W. Crandall and H. H. Zeineldin, "A Critical Assessment of Cost-Based Nash Methods for Demand Scheduling in Smart Grids," arXiv:1306.0816 [cs.GT], June 2013.
- 19.) Zubair Md. Fadlullah, Minh Quan Duong, NeiKato and Ivan Stojmenovic, "A Novel Game-based Demand Side Management Scheme for Smart Grid," Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2013 IEEE, pp. 4677 - 4682, April 2013.
- 20.) Урядовий портал [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.kmu.gov.ua/ua>
- 21.) НКРЕКП, Постанова від 29.12.2017 № 1609 "Про встановлення "зелених" тарифів на електричну енергію для приватних домогосподарств"