КІЛЬКІСНІ МЕТОДИ В ЕКОНОМІЦІ. ЦИФРОВА ЕКОНОМІКА

DOI: http://dx.doi.org/10.30970/ves.2025.69.0.6902

УДК 005.8:620.9:519.86(477)
JEL C53, M11

ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ З УРАХУВАННЯМ СЕЗОННОСТІ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМОЮ РЕГІОНУ

Василь Приймак[1], Ольга Голубник[2], Софія Палій[3]

Львівський національний університет імені Івана Франка,
79008, м. Львів, просп. Свободи, 18
[1]e-mail: vasyl.pryymak@lnu.edu.ua; ORCID: 0000-0003-0244-8661
[2]e-mail: olga.holubnyk@lnu.edu.ua; ORCID: 0000-0003-1211-4614
[3]e-mail: sofiia.palii@lnu.edu.ua

Анотація. *Метою статті є формування прогнозної оцінки обсягів споживання електроенергії в Тернопільській області у 2025 р. з урахуванням сезонної компоненти шляхом застосування двох методів прогнозування та обґрунтування вибору оптимального методу на основі системи показників точності прогнозу. Для прогнозування автори використовують метод прогнозування з використанням індексів сезонності і метод гармонійного аналізу, які дають змогу урахувати циклічні закономірності в динаміці досліджуваних процесів. Порівняння результатів розрахунків двома методами показує, що використання індексів сезонності дає менші значення прогнозу споживання електроенергії порівняно з методом гармонійного аналізу. Результати оцінювання точності прогнозів за статистичними метриками для двох використаних методів свідчать про більшу ефективність методу індексів сезонності та доцільність використання його як інструменту моделювання та прогнозування енергоспоживання регіону.*
Ключові слова: *електроспоживання, прогнозування, сезонність, індекси сезонності, гармонійний аналіз, циклічні коливання, управління.*

Постановка проблеми. В умовах тривалої війни росії проти України, періодичних атак різноманітних літальних апаратів на енергетичну, зокрема, електричну інфраструктуру, управління енергосистемами різко ускладняється. Пошкодження чи знищення об’єктів енергопостачання веде до аварійних відключень і зменшення потужності енергетичної системи країни. Атаки на цивільні об’єкти змінюють

© Приймак Василь, Голубник Ольга, Палій Софія, 2025

потреби в електроенергії її споживачів. Ці та інші причини зумовлюють необхідність у прогнозуванні обсягів споживання електроенергії на майбутні періоди. При відомій інформації про майбутні потреби в електроенергії спрощується управління енергосистемами, стабілізується їх робота та підвищується надійність, є можливість своєчасного коригування запланованих дій, оптимізації використання необхідних ресурсів, а також зменшення витрат через реалізацію певних заходів заощадження цієї енергії.

Процедура прогнозування електроспоживання ускладняється необхідністю урахування сезонних коливань цього споживання. Для прогнозування будь-яких процесів з урахуванням сезонності науковцями розроблено кілька методів. Постає природне питання – який з цих методів найефективніший для прогнозування саме споживання електроенергії в сучасних умовах російської військової агресії в Україні. Тому актуальними є питання знаходження помісячних прогнозних значень електроспоживання з урахуванням його сезонних коливань кількома методами та визначення найкращого з цих методів саме для вирішення цього завдання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Знаходженню прогнозних величин попиту на електроенергію, моделюванню процесів її споживання, інших питань, які пов'язані з вказаною проблемою, присвячено низка наукових статей українських та зарубіжних вчених. Зокрема, в науковій роботі [1] для одного з університетів Малайзії подано результати прогнозування у ньому щомісячного з січня по грудень 2018 року споживання електроенергії. Базою для заходження прогнозних значень були щомісячні дані цього споживання з січня 2011 року по грудень 2017 року. Прогнозування було виконано за допомогою простої і зваженої ковзної середньої, експоненціального згладжування та іншими методами. Зроблено висновки про найкращий з цих прогнозів на основі оцінювання їхніх похибок.

Подібні щомісячні прогнози споживання електричної енергії для домогосподарств-абонентів методом, який запропонував автор дослідження і кількома іншими методами подано у науковій статті [2]. Розрахунки проводилося в компанії з розподілу електроенергії провінції Керманшах в Ірані, яка обслуговує понад 650 000 домашніх абонентів у двох кліматичних регіонах: помірному та тропічному. Середні абсолютні значення відсоткової похибки для прогнозування 6000 домогосподарств-абонентів у 2023 році запропонованим автором методом не перевищували 16,9%, що вказує на добрі результати.

Використання нейронних мереж для короткострокового прогнозування електроспоживання розглянуто в роботі [3]. Причому в цій роботі ураховується сезонні відхилення у цьому споживанні. Обґрунтовано переваги використовуваної моделі над класичною моделлю ARIMA. А в науковій статті [4] висвітлено результати комплексного тематичного дослідження середньострокового прогнозування електронавантаження у складній динаміці енергетичного сектора Пакистану. Часовий горизонт для цього коливається від кількох тижнів до одного року, і він застосовується в енергоменеджменті та плануванні.

Результати ґрунтовного дослідження питання підвищення ефективності керування електроспоживанням за рахунок розроблення методу і моделей

оперативного прогнозування електричних навантажень систем електроспоживання з використанням їх фрактальних властивостей подано в монографії українських науковців Лежнюка П.Д. і Шуллє Ю.А. [5].

Питанням прогнозування відновлювальної енергетики присвячені наукові праці [6, 7]. У першій з них розглянуто сучасні методи прогнозування такої відновлювальної енергії як сонячна, а в другій – на основі результатів сценарного прогнозування визначено перспективи розвитку відновлювальної енергетики у структурі енергетичного балансу України.

У роботах [8, 9] використано метод штучних нейронних мереж для короткострокового прогнозування споживання електричної енергії. Зокрема, у першій з них прогноз розраховано для електротехнічних комплексів міської електричної мережі.

Однак, у вказаних та інших опублікованих наукових роботах з досліджуваної проблематики відсутні публікації щодо прогнозування помісячного споживання електроенергії з урахуванням сезонних змін в сучасних умовах російської військової агресії.

Постановка завдання. Метою статті є прогнозна оцінка обсягів споживання електроенергії в Тернопільській області для кожного місяця 2025 р. з урахуванням його сезонних змін двома методами прогнозування: з використанням індексів сезонності і методом гармонійного аналізу та визначення кращого з цих методів на основі розрахунку точності побудованих з їхньою допомогою прогнозів.

Методи дослідження. У дослідження застосовано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів, що забезпечили досягнення мети та реалізацію поставлених завдань. На першому етапі використано методи статистичного аналізу для систематизації та первинної обробки фактичних даних про обсяги споживання електроенергії в Тернопільській області за попередні періоди. Для побудови прогнозу використано два підходи: метод прогнозування з використанням індексів сезонності та метод гармонійного аналізу. Застосований методичний підхід поєднує елементи статистичного, гармонійного та порівняльного аналізу, що забезпечує комплексне відображення сезонних закономірностей у динаміці електроспоживання регіону та підвищує обґрунтованість прогнозних оцінок для потреб енергетичного менеджменту.

Виклад основного матеріалу дослідження. Російсько-українська війна, що триває вже більше десяти років, завдала непоправної шкоди не тільки Україні, а багатьом іншим країнам, які підтримують українців у тій російській військовій агресії. Зазнала серйозних втрат і енергетична інфраструктура нашої країни. Особливо відчутних втрат вона зазнала після повномасштабного вторгнення російських військ і їхніх атак на цивільні об’єкти. Аварійні відключення електрики відчули не тільки регіони, які близькі до лінії фронту, а й все населення країни. Тому перед енергосистемами стоїть нелегке завдання: забезпечити господарку і населення країни безперебійним та надійним електропостачанням протягом кожної доби.

Для виконання поставленого завдання керівництву електромереж необхідно ефективно управляти наявними ресурсами, збільшувати запаси електроенергії та при крайній необхідності і можливості залучати зарубіжні потужності. Важливим етапом у

вирішенні цього завдання є прогнозування електроспоживання, яке дає енергетичним компаніям цінну інформацію про майбутні моделі споживання електроенергії, дозволяючи їм стратегічно мінімізувати розбіжності між попитом на навантаження та генеруючою потужністю. Прогнозування електроспоживання не тільки сприяє забезпеченню безперебійного та надійного електропостачання електромережі, а й «допомагає скоротити загальну вартість виробництва електроенергії і створити добре організовану систему енергопостачання» [10].

Особливо актуальним і практично значущим в умовах дефіциту електроенергії є середньострокове прогнозування її споживання. Адже прогнозування на рівні місяців дає змогу урахувати як сезонність, так і особливі помісячні тенденції, які мають місце в сучасних умовах нестабільної подачі електричної енергії.

Для аналізу і помісячного прогнозування споживання електроенергії, а також вибору оптимального методу скористаємось інформацію про обсяги споживання електроенергії у Тернопільській області за період з 2020 по 2024 роки [11].

Розрахунки на основі досліджуваних даних середньомісячної спожитої енергії у цій області (табл. 1) показали чіткі сезонні зміни цього споживання.

Таблиця 1

Середньомісячні обсяги спожитої електроенергії в Тернопільській області у 2020-2024 рр., МВт·год

Місяць	Рік				
	2020	2021	2022	2023	2024
Січень	2946,16	3241,84	3360,08	2370,89	2997,05
Лютий	2633,91	2856,02	2726,45	2571,47	2551,92
Березень	2743,41	2929,20	2956,78	2698,85	2648,30
Квітень	2584,72	2595,21	2654,57	2549,18	2210,19
Травень	2426,34	2319,56	2283,84	2338,44	2270,19
Червень	2093,75	2158,73	2156,13	2041,84	2041,84
Липень	2210,82	2315,86	2255,99	2181,60	1873,63
Серпень	2202,15	2155,69	2253,03	2142,32	2105,70
Вересень	2091,30	2235,70	2259,62	2013,43	1910,08
Жовтень	2320,79	2517,64	2346,07	2165,04	2109,86
Листопад	2661,62	2711,41	2228,03	2592,71	2425,04
Грудень	2967,14	3235,65	2304,27	2909,28	2612,20

Джерело: розраховано авторами на основі даних [11]

З цієї таблиці видно відносно найнижчі обсяги споживання електроенергії літом і збільшення споживання з похолоданням у зимові місяці. Винятки у динаміці спостерігались у липні 2021 р., наприкінці 2022 р. і на початку 2023 р. Якщо деяке підвищення спожитої електроенергії літом 2021 року зумовлене високою температурою

повітря і активним використанням охолоджувачів повітря, то друге відхилення від загальної тенденції пов'язане з частими аварійними відключеннями електрики через російські повітряні атаки і пошкодження чи знищення об'єктів енергопостачання.

Оскільки первинні дані базового для прогнозування періоду мають виражені сезонні коливання, то для знаходження прогнозу нами використано два методи, а саме, метод прогнозування з використанням індексів сезонності і метод гармонійного аналізу, які дають змогу урахувати циклічні закономірності в динаміці досліджуваних процесів.

Для застосування першого з цих методів потрібно мати величину базового прогнозу, тобто значення прогнозованого річного споживання електроенергії без урахування сезонності. Після розрахунку базового прогнозу ця величина коригується за допомогою індексів сезонності і отримуються прогнозовані значення даного показника для кожного місяця.

Знаходження базового прогнозу на 2025 рік нами виконано з використанням методу екстраполяції на основі плинної середньої [12, с. 71]. В сучасних умовах динамічних змін ситуації в секторі споживання електроенергії доцільність застосування саме цього методу пояснюється тим, що він ураховує вагу наявних значень часового ряду досліджуваного показника в залежності від їх відстані до кінця цього ряду. Чим ближче до цього кінця, тобто до початку прогнозованого періоду, тим більшу вагу мають елементи цього ряду.

Згідно цього методу прогнозоване значення обсягів споживання електроенергії в Тернопільській області на 2025 рік ($\hat{x}_6$) було розраховано за формулою:

$$\hat{x}_6 = x_5 + \lambda_5 \cdot \Delta x_5 + \lambda_4 \cdot \Delta x_4 + \lambda_3 \cdot \Delta x_3 + \lambda_2 \cdot \Delta x_2 + \lambda_1 \cdot \Delta x_1 , \qquad (1)$$

де x_5 – останнє значення динамічного ряду, тобто величина цього споживання за 2024 рік; i – ланцюгові абсолютні прирости досліджуваного показника; Δx_i $(i = \overline{1,5})$ – номер року базового періоду («передісторії») для прогнозування (i для 2020 р., для 2021 р, …, для 2024 р.); λ_i – коефіцієнти, які для кожного i $(i = \overline{1,5})$ були розраховані за формулою $\lambda_i = \frac{0{,}333 \cdot i}{5}$.

На основі розрахованих величин (табл. 2), що входять складовими у формулу (1), отримано прогнозоване значення досліджуваного показника. Причому для простоти у розрахунках використано припущення, що $\Delta x_1 = \Delta x_2$. В результаті розрахунків отримано прогнозоване значення обсягів споживання електроенергії в Тернопільській області на 2025 рік, яке становить 650 356,2 МВт·год.

Таблиця 2

Величини складових для розрахунку прогнозу споживання електроенергії в Тернопільській області на 2025 р. методом плинної середньої

Рік	*i*	Використано електроенергії x_i), МВт·год	Ланцюговий абсолютний приріст (Δx_i), МВт·год	Коефіцієнти λ_i
2020	1	719491,4	-	0,0666
2021	2	753058,01	33566,6	0,1332
2022	3	717183,3	-35874,73	0,1998
2023	4	687966,12	-29217,16	0,2664
2024	5	668253,72	-19712,40	0,333
2025	6	-	-	-

Джерело: розраховано авторами на основі даних [11]

Наступним етапом розрахунків для знаходження прогнозних величин споживання електроенергії кожного місяця у 2025 р. Як було сказано вище, ці величини розрахуємо за формулою:

$$\hat{x}_i = \frac{\hat{x}}{12} \cdot I_i \,, \tag{2}$$

де $\hat{x}_i$ – прогнозне значення досліджуваного показника на і-й місяць , розраховане з використанням індексу сезонності; $\hat{x}$ – розраховане раніше прогнозне значення цього показника на 2005 рік; I_i – індекс сезонності, розрахований для і-го місяця за формулою $I_i = \frac{\bar{x}_i}{\bar{x}}$; $\bar{x}_i$ – середня величина досліджуваного показника за і-й місяць всіх років базового періоду, тобто 2020–2024 рр.; $\bar{x}$ – середня величина цього показника за всі 60 місяців 2020–2024 років.

Виконані за формулою (2) розрахунки прогнозу досліджуваного показника подано в таблиці 3. Причому отримане в процесі попередніх обчислень і використане в цих розрахунках значення середнього обсягу спожитої електричної енергії за всі 60 базових місяців $\bar{x}$ становить 59 099,21 МВт·год.

Таблиця 3

Прогноз спожитої електроенергії в Тернопільській області для кожного місяця 2025 року, отриманий на основі використання індексів сезонності

Місяць	Номер місяця	Середні значення за і-й місяць базового періоду	Індекс сезонності для *i*-го місяця	Прогноз на *i*-й місяць 2025 року, МВт·год
	i	$\bar{x}_i$	I_i	$\hat{x}_i$
1	*2*	*3*	*4*	*5*
Січень	1	71596,87	1,21	65657,21
Лютий	2	64030,92	1,08	58718,93
Березень	3	67087,38	1,14	61521,82
Квітень	4	60450,56	1,02	55435,60
Травень	5	55864,18	0,95	51229,70

Закінчення табл. 3

1	*2*	*3*	*4*	*5*
Червень	6	50363,04	0,85	46184,93
Липень	7	52021,89	0,88	47706,16
Серпень	8	52122,75	0,88	47798,66
Вересень	9	50448,64	0,85	46263,44
Жовтень	10	57297,01	0,97	52543,66
Листопад	11	60570,27	1,02	55545,37
Грудень	12	67337,01	1,14	61750,75

Джерело: розраховано авторами на основі даних [11]

Для наочності отримані в результаті розрахунків з використанням індексів сезонності прогнозні значення досліджуваної величини подано на рис. 1.

Як видно з табл. 3 індекси сезонності з травня по жовтень менші, а для інших місяців більші одиниці. Це означає, що обсяги місячного споживання електроенергії мали би бути у прогнозованому році відповідно менші і більші середніх місячних величин цього показника.

Рис. 1 показує тенденцію до зменшення використання електрики у 2025 р. Найвище значення досліджуваного показника очікується у січні, а найменше – у червні і вересні.

Рис. 1. Динаміка реального за 2020–2024 рр. та прогнозованого на основі індексу сезонності на 2025 р. місячного споживання електроенергії в Тернопільській області
Джерело: побудовано авторами на основі табл. 3 та даними [11]

Перейдемо до отриманих результатів прогнозування сезонної хвилі другим з використаних нами методів, а саме – методом гармонійного аналізу [12, 13]. Його суть полягає у апроксимації часового ряду $x_1, x_2 ... x_n$ з циклічними коливаннями поліномами Фур'є виду:

$$x_t^{(l)} = a + \sum_{i=1}^{l}(b_i \cos \omega i\tau + c_i \sin \omega i\tau), \quad (3)$$

де i – номер гармоніки поліному Фур'є $i = (\overline{1, l})$; l – кількість використовуваних гармонік; $\tau = t - 1$; $\omega = 2\pi/s$ – кутова частота гармоніки; s – тривалість циклу; a, b_i, c_i, – коефіцієнти Фур'є (невідомі параметри).

Параметри a, b_i, c_i визначають на основі методу найменших квадратів за формулами [12, 13]:

$$a = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n} x_t; \quad b_i = \frac{2}{n}\sum_{t=1}^{n}[x_t \cdot \cos(\omega i\tau)]; \quad c_i = \frac{2}{n}\sum_{t=1}^{n}[x_t \cdot \sin(\omega i\tau)]. \quad (4)$$

Для визначення кількості використовуваних у розрахунках гармонік переважно користуються таким критерієм:

$$\sum \left(x_t - x_t^{(l)}\right)^2, \quad (5)$$

де $x_t^{(l)}$ – визначається на основі формули (3), а x_t – фактичні (первинні) величини заданого часового ряду. Якщо при урахуванні наступної гармоніки сума (5) збільшується, то в подальших розрахунках цю гармоніку не враховують, бо вона не покращує точність прогнозу і немає рації її використовувати.

Через обмежений обсяг статті опустимо результати проміжних розрахунків і викладемо тільки отримані основні висновки.

Розрахована на основі формули (5) точність прогнозних значень, які отримані за формулою (3) з використанням першої, другої і третьої гармонік, тобто для (l=1,2,3), відповідно становить 50 855 040,52 МВт·год; 45 198 855,68 МВт·год і 1 011 112 377,95 МВт·год. Тобто збільшення кількості гармонік від однієї до двох покращує точність прогнозу, а від двох до трьох – погіршує. Тому для прогнозування досліджуваного показника нами використано дві гармоніки. В результаті, формула (3) матиме такий вигляд:

$$x_t^{(2)} = 59099{,}21 + 9210{,}01 \cdot \cos\frac{\pi\tau}{6} + 1825{,}77 \cdot \sin\frac{\pi\tau}{6} + \quad (6)$$
$$+ 968{,}8 \cdot \cos\frac{\pi\tau}{3} - 64{,}2 \cdot \sin\frac{\pi\tau}{3}.$$

Виконані за формулою (6) прогнозні значення споживання електроенергії на кожний місяць 2025 року подано в табл. 4.

ISSN 2078-6115. Вісник Львівського університету. Серія економічна. 2025. Випуск 69

Таблиця 4

Розраховані з використанням методу гармонійного аналізу прогнозовані значення помісячного споживання електроенергії в Тернопільській області на 2025 рік

№ п/п	t	Місяць	τ	$\cos\frac{\pi\tau}{3}$	$\sin\frac{\pi\tau}{3}$	$\cos\frac{\pi\tau}{6}$	$\sin\frac{\pi\tau}{6}$	Прогноз, МВт·год
1	61	Січень	60	1,000	0,000	1,000	0,000	69278,02
2	62	Лютий	61	0,500	0,866	0,866	0,500	68417,00
3	63	Березень	62	-0,500	0,866	0,500	0,866	64745,38
4	64	Квітень	63	-1,000	0,000	0,000	1,000	59956,18
5	65	Травень	64	-0,500	-0,866	-0,500	0,866	55646,57
6	66	Червень	65	0,500	-0,866	-0,866	0,500	52575,99
7	67	Липень	66	1,000	0,000	-1,000	0,000	50858,00
8	68	Серпень	67	0,500	0,866	-0,866	-0,500	50639,02
9	69	Вересень	68	-0,500	0,866	-0,500	-0,866	52373,04
10	70	Жовтень	69	-1,000	0,000	0,000	-1,000	56304,64
11	71	Листопад	70	-0,500	-0,866	0,500	-0,866	61694,25
12	72	Грудень	71	0,500	-0,866	0,866	-0,500	66702,43

Джерело: розраховано авторами на основі даних [11]

Отримані за допомогою методу гармонійного аналізу результати прогнозування (табл. 4) помісячного споживання електроенергії в Тернопільській області свідчать про наявність чітко вираженої сезонної динаміки. Згідно з розрахунками, прогнозовані значення коливаються від 50,6 тис. МВт·год у серпні до 69,3 тис. МВт·год у січні, що формує річну амплітуду близько 18,7 тис. МВт·год. Такий рівень варіації в межах року підтверджує значний вплив сезонних чинників, насамперед температурних умов і змін у структурі енергоспоживання між опалювальним і неопалювальним періодами.

Максимальні значення спостерігаються з листопада по березень, коли збільшується навантаження на енергосистему через потребу в освітленні, опаленні та використанні побутових електроприладів. Натомість мінімальні показники фіксуються влітку, у липні та серпні, коли споживання електроенергії зменшується внаслідок сприятливих погодних умов, довшої світлової частини доби та скорочення виробничої активності окремих галузей.

Порівняння результатів розрахунків двома методами (див. табл. 3 і 4) показує, що використання індексів сезонності дає менші значення прогнозу споживання електроенергії порівняно з методом гармонійного аналізу. Однак, щоб вибрати для розрахунку прогнозних величин досліджуваного показника кращий з цих двох методів потрібне порівняння отриманих прогнозних з фактичними значеннями цього показника за 2025 рік.

Нами виконано такі порівняння для перших чотирьох місяців 2025 року, для яких фактичні величини спожитої електроенергії в Тернопільській області відповідно

становлять: 64513,82; 59694,98; 58044,20 і 55110,71 МВт·год [11]. Причому для оцінювання точності прогнозу кожним з цих методів розраховано середню абсолютну похибку (MAE), середню квадратичну похибку (RMSE), середню абсолютну похибку у відсотках (MAPE), а також коефіцієнт невідповідності Тейла [12, 14] (табл. 5).

Таблиця 5

Результати оцінювання точності прогнозів за статистичними метриками для двох використовуваних методів

Статистична метрика	Метод розрахунку прогнозу	
	Гармонійний аналіз	Індекс сезонності
Середня абсолютна похибка (MAE), МВт·год	6258,22	1480,49
Корінь середньоквадратичної похибки (RMSE), МВт·год	6464,43	1901,28
Середня абсолютна відносна похибка (MAPE), %	10,58	2,5
Коефіцієнт Тейла (U)	0,052	0,016

Джерело: розраховано авторами на основі табл. 3 і 4.

З таблиці 5 випливає твердження про можливість використання для помісячного прогнозування обсягів споживання електроенергії в Тернопільській області кожного з вказаних методів знаходження прогнозів. Наприклад, величина MAPE у разі знаходження прогнозу з використанням індексів сезонності становить всього 2,5%, що вказує на досить високу точність отриманих прогнозних значень. Прийнятними для практичного використання також є прогнозні значення досліджуваного показника, які отримані методом гармонійного аналізу, адже значення MAPE для них становить 10,58%. Хоча ця величина більш як в чотири рази більша за значення такої ж похибки для методу індексів, таку точність прогнозу ще можна вважати високою. Подібні висновки можна зробити на основі розрахованих значень інших статистичних метрик для визначення похибок, зокрема коефіцієнта Тейла. Крім цього, тут слід наголосити, що величини похибки розраховані з використанням всіх метрик менші для методу індексів, порівняно з методом гармонійного аналізу. Тобто для розрахунку прогнозних значень вказаного показника доцільніше використовувати перший з цих методів.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Побудована гармонійна модель відображає типову для регіонів із помірним кліматом хвилеподібну форму споживання енергії. Середній прогнозований рівень електроспоживання становить близько 60,8 тис. МВт·год, що характеризує регіон як відносно стабільний за обсягами попиту. При цьому сезонна амплітуда, що сягає приблизно 27% від середнього значення, підтверджує високу чутливість енергетичного балансу до змін кліматичних і соціально-економічних умов. Отже, застосування методу гармонійного аналізу є доцільним для врахування сезонності при прогнозуванні споживання електроенергії, оскільки він дозволяє відтворити циклічну природу процесу та забезпечити високу точність оцінок. Проте застосування методу прогнозування з використанням індексів сезонності довело вищу ефективність як інструменту моделювання та прогнозування

енергоспоживання. Для умов регіональних енергосистем це має важливе практичне значення, оскільки дозволяє своєчасно реагувати на зміни навантажень і запобігати енергетичним дисбалансам. Результати дослідження мають практичну цінність для енергоменеджменту, регіонального планування та формування енергетичної політики.

Врахування сезонності при прогнозуванні дозволяє оптимізувати графіки навантаження енергосистеми, забезпечити рівномірніше використання потужностей, підвищити ефективність використання електроенергії та знизити ризики дефіциту або перевиробництва. Отримані дані можуть бути використані органами місцевої влади, енергопостачальними компаніями та підприємствами для розроблення стратегій сталого енергетичного розвитку. Урахування сезонності є необхідною умовою при прогнозуванні електроспоживання на регіональному рівні. Методи гармонійного аналізу та прогнозування з використанням індексів сезонності забезпечують комплексне відображення циклічних процесів і можуть стати важливим інструментом для прийняття ефективних управлінських рішень у сфері енергетики.

Список використаних джерел

1. Lee Y., Tay K., Choy Y.: Forecasting electricity consumption using time series model. *International Journal of Engineering and Technology*. 2018. Vol. 7(4), pp. 218–223. URL: https://www.researchgate.net/publication/3314964-93_Forecasting_Electricity_Consumption_Using_Time_Series_Model.
2. Hosseini B. Forecasting household monthly electricity consumption using the similar pattern algorithm. *Academia Green Energy* 2025. Vol. 2; Issue 1, P. 1–10. URL: https://doi.org/10.20935/AcadEnergy7500.
3. Elsaraiti M. Short-term power consumption forecasting using neural networks with first- and second-order differencing. Academia Green Energy 2024. Vol. 1. Pp. 1–12. URL: https://doi.org/10.20935/AcadEnergy7381.
4. Nawaz S.M., Ahmed U., Amin A., Shah S.A.H, Mahmood A. Medium-term load forecasting with Power Market Survey: GEPCO case study. Academia Green Energy 2024. Vol.1. P. 1–7. URL: https://doi.org/10.20935/AcadEnergy6257.
5. Лежнюк П.Д., Шуллє Ю.А. Оперативне прогнозування електричних навантажень систем електроспоживання з використанням їх фрактальних властивостей : монографія. Вінниця: ВНТУ, 2015. 104 с.
6. Матушкін Д. С. Огляд сучасних методів прогнозування сонячної енергії. *Аспірантські читання пам'яті професора Артура Праховника*, присвячені 75-річчю IEE: матер. Internet-конф., 10-11 березня 2021. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, IEE, 2021. С. 34–38.
7. Пімоненко Т.В., Люльов О.В., Зябіна Є.А., Макаренко І О., Василина Т.М. Прогнозування структури енергетичного балансу України: питома вага відновлюваних джерел енергії. *Науковий погляд: економіка та управління*. 2021. №4 (74). С. 21–27.
8. Грищенко Р. Прогнозування споживання електричної енергії електротехнічних комплексів міської електричної мережі. International Science Journal of Engineering & Agriculture. 2022. Том 1, №3, С. 152–160.
9. Джеря Т.Е., Шевчук В.В. Прогнозування споживання електричної енергії за допомогою нейронних мереж. Control, Navigation and Communication Systems. 2023. No. 2. С. 42–44.

10. Azeem A., Ismail I., Jameel S.M., Harindran V.R. Electrical load forecasting models for different generation modalities: a review. IEEE Access. 2021. URL: DOI:10.1109/ACCESS.2021.3120731.
11. Статистична звітна інформація ТОВ «Тернопільелектропостач» про погодинні фактичні обсяги продажу електричної енергії побутовим споживачам в торгових зонах БуОС та ОЕС України. URL: https://tepo.com.ua/press-center/.
12. Галущак М.П., Галущак О.Я., Кужда Т.І. Прогнозування соціально-економічних процесів: навч. посіб. Тернопіль: ФОП Паляниця, 2021. 160 с.
13. Єлейко В.І., Єлейко О.І., Синицький О.С., Чемерис А.О. Економетричні методи прогнозування. К.: УАДУ, 1998. 116 с.
14. Яровий А.Т., Страхов Є.М. Аналіз часових рядів: навч. посіб. Одеса: Освіта України, 2019. 260 с.

References

1. Lee Y., Tay K., Choy Y. (2018) Forecasting electricity consumption using time series model. International Journal of Engineering and Technology, vol. 7(4), pp. 218–223. Available at: https://www.researchgate.net/publication/3314964-93_Forecasting_Electricity_Consumption_Using_Time_Series_Model.
2. Hosseini B. (2025) Forecasting household monthly electricity consumption using the similar pattern algorithm. Academia Green Energy, vol. 2(1), pp. 1–10. https://doi.org/10.20935/AcadEnergy7500.
3. Elsaraiti M. (2024) Short-term power consumption forecasting using neural networks with first- and second-order differencing. Academia Green Energy, vol. 1, pp. 1–12. https://doi.org/10.20935/AcadEnergy7381.
4. Nawaz S. M., Ahmed U., Amin A., Shah S. A. H., Mahmood A. (2024) Medium-term load forecasting with Power Market Survey: GEPCO case study. Academia Green Energy, vol. 1, pp. 1–7. https://doi.org/10.20935/AcadEnergy6257.
5. Lezhniuk P.D., Shullie Yu. A. (2015) Operatyvne prohnozuvannia elektrychnykh navantazhen system elektropostachannia z vykorystanniam yikh fraktalnykh vlastyvostei: monohrafiia [Operational forecasting of electrical load in power supply systems using their fractal properties: monograph]. Vinnytsia: VNTU, 104 p. (in Ukrainian).
6. Matushkin D.S. (2021) Ohliad suchasnykh metodiv prohnozuvannia soniachnoi enerhii [Review of modern methods for solar energy forecasting]. Aspirantski chytannia pamiati profesora Artura Prakhovnyka, prysviacheni 75-richchiu IEE (Kyiv, March 10–11, 2021). Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, IEE, pp. 34–38. (in Ukrainian).
7. Pimonenko T.V., Liulov O.V., Ziabina Ye.A., Makarenko I.O., Vasylyna T.M. (2021) Prohnozuvannia struktury enerhetychnoho balansu Ukrainy: pytoma vaha vidnovliuvanykh dzherel enerhii [Forecasting the structure of Ukraine's energy balance: share of renewable energy sources]. Naukovyi pohliad: ekonomika ta upravlinnia – Scientific View: Economics and Management, no. 4(74), pp. 21–27. (in Ukrainian).
8. Hryshchenko R. (2022) Prohnozuvannia spozhyvannia elektrychnoi enerhii elektrotekhnichnykh kompleksiv miskoi elektrychnoi merezhi [Forecasting electricity consumption of urban electrical network complexes]. International Science Journal of Engineering & Agriculture, vol. 1(3), pp. 152–160. (in Ukrainian).
9. Dzheria T.E., Shevchuk V.V. (2023) Prohnozuvannia spozhyvannia elektrychnoi enerhii za dopomohoiu neironnykh merezh [Electricity consumption forecasting using neural networks]. Control, Navigation and Communication Systems, no. 2, pp. 42–44. (in Ukrainian).
10. Azeem A., Ismail I., Jameel S. M., Harindran V. R. (2021) Electrical load forecasting models for different generation modalities: a review. IEEE Access. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3120731.

11. TOV «Ternopilelektropostach». (2025) Statystychna zvitna informatsiia pro pohodynni faktychni obsiahy prodazhu elektrychnoi enerhii pobutovym spozhyvacham v torhovykh zonakh BuOS ta OES Ukrainy [Statistical report on hourly actual volumes of electricity sold to household consumers in the BuOS and OES zones of Ukraine]. Available at: https://tepo.com.ua/press-center/. (in Ukrainian).
12. Halushchak M. P., Halushchak O. Ya., Kuzhda T. I. (2021) Prohnozuvannia sotsialno-ekonomichnykh protsesiv: navchalnyi posibnyk [Forecasting of socio-economic processes: textbook]. Ternopil: FOP Palyanytsia, 160 p. (in Ukrainian).
13. Yeleiko V.I., Yeleiko O.I., Synytskyi O.S., Chemerys A.O. (1998) Ekonometrychni metody prohnozuvannia [Econometric forecasting methods]. Kyiv: UADU, 116 p. (in Ukrainian).
14. Yarovyi A. T., Strakhov Ye. M. (2019) Analiz chasovykh riadiv: navchalnyi posibnyk [Time series analysis: textbook]. Odesa: Osvita Ukrainy, 260 p. (in Ukrainian).

FORECASTING OF ELECTRICITY CONSUMPTION TAKING INTO ACCOUNT SEASONALITY TO INCREASE THE EFFICIENCY OF REGIONAL ENERGY SYSTEM MANAGEMENT

Vasyl Pryimak[1], Olga Holubnyk[2], Sofiia Palii[3]

Ivan Franko National University of Lviv,
18 Svobody Ave., Lviv, 79008
[1]e-mail: vasyl.pryymak@lnu.edu.ua; ORCID: 0000-0003-0244-8661
[2]e-mail: olga.holubnyk@lnu.edu.ua; ORCID: 0000-0003-1211-4614
[3]e-mail: sofiia.palii@lnu.edu.ua

Abstract. The purpose of this article is to analyze and forecast electricity consumption in the Ternopil region for each month of 2025, taking into account its seasonal fluctuations, using two forecasting methods, and determine the most accurate method based on the accuracy of the forecasts generated. The paper determines the relevance of medium-term forecasting of electricity consumption in the current conditions of its deficit. The authors used two methods to find a forecast: a forecasting method using seasonality indices and a harmonic analysis method, which allow taking into account cyclical patterns in the dynamics of the studied processes. The results obtained show that the seasonality indices from May to October are smaller, and for other months they are larger units. This means that the volumes of monthly electricity consumption should be smaller and larger in the forecasted year, respectively, than the average monthly values of this indicator.

The harmonic analysis method provides a comprehensive reflection of cyclical processes and can become an important tool for making effective management decisions in the energy sector. The results of forecasting monthly electricity consumption in Ternopil region obtained using the harmonic analysis method indicate the presence of clearly expressed seasonal dynamics. A comparison of the results of calculations using the two methods shows that the use of seasonality indices gives lower values of the electricity consumption forecast compared to the harmonic analysis method.

The use of the harmonic analysis method is appropriate for taking into account seasonality when forecasting electricity consumption, since it allows you to reproduce the cyclical nature of the process and ensure high accuracy of estimates. The results of assessing the accuracy of forecasts by statistical metrics for the two methods used indicate the greater effectiveness of the seasonality indices method and the feasibility of using it as a tool for modeling and forecasting energy consumption in the region.

Keywords: electricity consumption, forecasting, seasonality, seasonality indices, harmonic analysis, cyclical fluctuations, management.

Стаття надійшла до редакції 26.10.2025
Прийнята до друку 23.12.2025