

Білоцерківський О. Б.
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри менеджменту
зовнішньоекономічної діяльності та фінансів
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»

Bilotserkivskyi O. B.
Candidate of Technical Sciences, Associated Professor,
Associated Professor of International Business and Finance Department
National Technical University
«Kharkov Polytechnic Institute»

МОДЕЛЮВАННЯ ЧАСОВОГО РЯДУ З ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ

TIME SERIES MODELING OF ELECTRO-ENERGY PRODUCTION IN UKRAINE

Анотація. У роботі проведено моделювання часового ряду з виробництва електроенергії в Україні за кварталними даними 2014–2015 рр. Розраховано базисні та ланцюгові показники ряду динаміки. Досліджено сезонну хвилю. Для побудови тренду використувалося авторегресійне моделювання. Зроблено точковий прогноз щодо виробництва електроенергії на 2016 р.

Ключові слова: виробництво електроенергії, базисні та ланцюгові показники ряду динаміки, тренд, сезонна хвиля, авторегресійні моделі, точковий прогноз.

Вступ та постановка проблеми. Електроенергетика – це провідна галузь енергетики України, що охоплює виробництво, передачу та розподіл електроенергії. Електроенергетика є найбільш важливою галуззю енергетики, що пояснюється такими перевагами електроенергії перед енергією інших видів, як відносна легкість передачі на великі відстані, розподілу між споживачами, а також перетворення в інші види енергії (механічну, теплову, хімічну, світлову тощо). Відмінною рисою електричної енергії є практична одночасність її генерування і споживання, так як електричний струм поширюється по мережах зі швидкістю, близькою до швидкості світла. В Україні електроенергія виробляється здебільше за допомогою непоновлюваних джерел (спалювання вугілля, мазуту, природного газу), а також використання енергії води та атомної енергії. Проте сьогодні Україна знаходиться у складній економічній ситуації у зв'язку з тривалим збройним конфліктом на Донбасі з проросійськими сепаратистами, під контролем яких опинилися практично всі антрацитові вугільні шахти [1, с. 186]. Ефективним засобом дослідження виробництва електроенергії є використання математичних моделей, зокрема економетричних, оскільки це зручніше, дешевше, займає менше часу порівняно з фізичним моделюванням [2, с. 5]. Тому дослідження виробництва електроенергії в його розвитку за часом і вивчення сезонної хвилі є актуальними та мають важливе практичне значення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню виробництва електроенергії в Україні присвячено роботи О.Б. Білоцерківський та І.О. Сінчук. Наприклад, у роботах [3, с. 153, 4, с. 63], згідно з даними 2000–2005 рр., визначено аналітичні показники динаміки, вид лінії тренду – лінійну функцію, розраховано її параметри, оцінено тісноту та значущість зв'язку між ознаками, зроблено точковий та інтервальний прогноз на 2009 р. Авторегресійне моделювання та прогнозування виробництва

електроенергії в Україні на 2015 і 2016 рр. розглянуто в роботі [5, с. 75]. Впливу сезонності на споживання електроенергії на залізничних підприємствах присвячено роботу [6, с. 281].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Результати, отримані в роботах [3–6], вже морально застаріли. Крім того, не завжди вдається підібрати адекватну регресійну модель, для якої ряд залишків буде задовольняти основним передумовам регресійного аналізу [5, с. 70; 7, с. 130]. Тому широкого застосування одержали авторегресійні моделі, в яких регресорами виступають лагові змінні, тобто змінні, вплив яких в економетричній моделі характеризується певним запізненням.

Метою статті є моделювання часового ряду з виробництва електроенергії в Україні та дослідження сезонної хвилі за кварталними даними 2014–2015 рр.

Результати дослідження. Використовуючи метод збільшення інтервалів [8, с. 202], перетворимо місячні дані Держкомстату України про виробництво електроенергії у кварталні (див. табл. 1) [9].

Таблиця 1

**Виробництво електроенергії в Україні
за кварталами 2014–2015 рр.**

Рік	Виробництво електроенергії, млн кВт/год			
2014	33 025,7	43 067,4	40 555	47 182,6
2015	44 636,2	37 994,2	36 562,8	44 072,8

Проаналізуємо дані, наведені в таблиці 1, для вивчення зміни явища за часом і встановлення його напрямку, характеру цієї зміни й вияв закономірності розвитку [8, с. 196]. Властивості рядів динаміки оцінюються за допомогою *аналітичних показників*. При цьому базою порівняння може бути змінний попередній рівень (розрахунок *ланцюговим способом*) або постійний віддалений за часом рівень (розрахунок *базисним способом*).

Абсолютний приріст (або зменшення) Δ_i відповідає швидкості зміни рівнів ряду і розраховується як різниця рівнів ряду:

а) базисний $\Delta_{i0} = y_i - y_0$; (1)

б) ланцюговий $\Delta_i = y_i - y_{i-1}$, $i = 1 \dots n$, (2)

де n – кількість рівнів ряду динаміки.

Темп зростання K_i характеризує інтенсивність змін рівнів ряду і виражається у відносних величинах числом або у відсотках:

а) базисний $K_{i0} = \frac{y_i}{y_0}$; (3)

б) ланцюговий $K_i = \frac{y_i}{y_{i-1}}$ (4)

Темп приросту T_i виражається у відсотках і показує, на скільки рівень y_i більший (менший) від рівня, взятого за базу порівняння:

а) базисний $T_{i0} = \frac{\Delta_{i0}}{y_0} 100\% = \frac{y_i - y_0}{y_0} 100\%$; (5)

б) ланцюговий $T_i = \frac{\Delta_i}{y_{i-1}} 100\% = \frac{y_i - y_{i-1}}{y_{i-1}} 100\%$. (6)

Абсолютне значення одного відсотка приросту A_i характеризує вагомість кожного відсотка приросту і розраховується як відношення абсолютного приросту до темпу приросту:

$$A_i = \frac{\Delta_i}{T_i} = \frac{y_{i-1}}{100} = 0,01y_{i-1}, \%$$
 (7)

Результати розрахунків наведено в табл. 2.

Із табл. 2 видно, що в IV кварталі 2015 р. виробництво електроенергії порівняно з I кварталом 2014 р. збільшилося на 11 047,1 млн кВт/год, або в 1,33 рази (33,45%). Найбільший темп зростання виробництва електроенергії порівняно з попереднім кварталом спостерігався у II кварталі 2014 р. (1,3%), найменший – у II кварталі 2015 р. (0,85%). Абсолютне значення 1% приросту у 2015 р. зменшується поквартально (з 471,83 до 365,63 млн кВт/год). Таким чином, розвиток електроенергетичної галузі України з виробництва електроенергії є позитивним, а її показники збільшуються.

Проведено моделювання часового ряду, тобто виділено тренд, випадкову та сезонну складові [8, с. 201]. Для цього використовується методика І.І. Єлисеєвої та М.М. Юзбашева [10, с. 501]:

1. За кварталними даними за всі роки розраховується рівняння тренду (метод аналітичного вирівнювання) та вирівняні за ним рівні, що позначаються \tilde{y}_{ij} , де i – номер року; j – номер кварталу.

2. Кожний фактичний рівень ділиться на відповідний вирівняний для розрахунку індексів сезонності C_{ij} .

3. Індекси сезонності усереднюються за всі роки, одержуємо середні індекси сезонності для кожного кварталу:

$$\bar{c}_j = \frac{\sum_{i=1}^k c_{ij}}{k}, \quad (8)$$

де i – номер року;

k – кількість років;

j – номер кварталу.

4. Вирівняні рівні помножуються на середні індекси сезонності для відповідних кварталів, отримуємо вирівняні рівні з урахуванням сезонності \tilde{y}'_{ij} :

$$\tilde{y}'_{ij} = \tilde{y}_{ij} \cdot \bar{c}_j. \quad (9)$$

5. Обчислюються відхилення (та їх квадрати) за допомогою сезонності:

$$u_{сезij} = \tilde{y}'_{ij} - \tilde{y}_{ij}. \quad (10)$$

6. Визначаються відхилення (та їх квадрати) за допомогою випадкових коливань:

$$u_{випij} = y_{ij} - \tilde{y}'_{ij}. \quad (11)$$

7. Розраховуються загальні відхилення:

$$u_{сезij} + u_{випij} = y_{ij} - \tilde{y}_{ij}. \quad (12)$$

Графічно сезонна хвиля зображена на рис. 1.

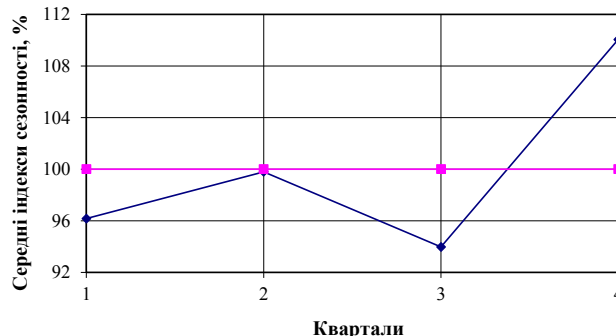


Рис. 1. Сезонна хвиля виробництва електроенергії в Україні за квартал

Із рис. 1 видно, що сезонність виробництва електроенергії має чітко виражений характер: спостерігається сезонний спад виробництва електроенергії в середині року (6%) (весняно-літній період) і підйом наприкінці року на 10% (осінньо-зимовий період). Для виділення тренду була побудована модель лінійної парної регресії $\tilde{y} = 40\,887,1 + 205,824t$, у якій тіснота зв'язку між ознаками виявилася недостатньою (коефіцієнт детермінації $R = 0,045$). Тому були побудовані авторегресійні моделі за методикою Ю.І. Лернера [5, с. 70; 7, с. 130]. Деякому ряду динаміки величини у виникає проблема прогнозування значення величини на майбутній період у ряді попередніх значень за допомогою деякого рівняння регресії, зокрема

Таблиця 2

Аналітичні показники ряду динаміки за 2014–2015 рр.

Квартали	Вироблено електричної енергії, млн кВт/год	Абсолютний приріст, млн кВт/год		Темп зростання, %		Темп приросту, %		Абсолютне значення 1% приросту, млн кВт/год
	y_i	Δ_i	Δ_{i0}	K_i	K_{i0}	T_i	T_{i0}	A_i
I	33 025,7	...	0	...	1,00	...	0	...
II	43 067,4	10 041,7	10 041,7	1,30406	1,30406	30,4057	30,4057	330,257
III	40 555	-2 512,4	7 529,3	0,94166	1,22798	-5,8336	22,7983	430,674
IV	47 182,6	6 627,6	14 156,9	1,16342	1,42866	16,3423	42,8663	405,55
I	44 636,2	-2 546,4	11 610,5	0,94603	1,35156	-5,3969	35,156	471,826
II	37 994,4	-6641,8	4 968,7	0,8512	1,15045	-14,88	15,0449	446,362
III	36 562,8	-1 431,6	3 537,1	0,96232	1,1071	-3,7679	10,7101	379,944
IV	44 072,8	7 510	11 047,1	1,2054	1,3345	20,54	33,45	365,628

лінійного, з коефіцієнтами, що визначаються за методом найменших квадратів.

$$\tilde{y}_t = a_1 y_{t-1} + a_2 y_{t-2} + \dots + a_k y_{t-k} \quad (13)$$

Доведено, що залежність (13) у тому і тільки в тому разі зображає поведінку випадкової величини y в генеральній сукупності, якщо різниця між розрахунковими значеннями \tilde{y}_t відповідно до (13) і фактичними даними y_t

$$\varepsilon_t = \tilde{y}_t - y_t \quad (14)$$

є величиною незалежною від часу. Ця умова замінюється двома іншими:

- а) значення ε_t нормально розподілені;
- б) некорельовані між собою.

З огляду на те, що ряд ε_t має невелику кількість членів, то умова (а) не перевіряється. Для перевірки умови (б) використовується критерій Неймана. Розглядається співвідношення середнього квадрата послідовних різниць $\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1}$ до середнього квадрата ε_t :

$$K = \frac{\sum_{t=k+2}^n (\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1})^2}{n - k - 1} \cdot \frac{\sum_{t=k+2}^n \varepsilon_t^2}{n'} \quad (15)$$

Для критерію K складена таблиця вірогідності у 5%-му і 1%-му рівнях значущості для різних значень $n' = n - k$ ($4 \leq n' \leq 60$). Якщо розрахункове значення K потрапляє в допустиму область у 5%-му рівні значущості, приймаємо гіпотезу неавтокорельованості залишків ε_t і затверджуємо k -членну авторегресійну модель (13). Якщо ж K потрапляє в критичну область при 1%-му рівні значущості, то відкидаємо гіпотезу неавтокорельованості залишків ε_t і відмовляємося від моделі (13), при цьому намагаємося збільшити кількість членів рівняння (якщо довжина ряду дозволяє).

За даними табл. 1 складено одночленні або за наявності автокорельованості залишків ε_t двочленні моделі:

$$\tilde{y}_t = a_1 y_{t-1}; \quad (16)$$

$$\tilde{y}_t = a_1 y_{t-1} + a_2 y_{t-2}. \quad (17)$$

Отримано такі рівняння авторегресійної моделі: одночленне $\tilde{y}_t = y_{t-1}$ ($K = 2,14$) та двочленне

$\tilde{y}_t = 0,79y_{t-1} + 0,213y_{t-2}$ ($K = 2,14$). При цьому побудовані авторегресійні моделі є адекватними за критерієм Неймана, оскільки значення K потрапляють в допустиму область при 5%-му рівні значущості. Також авторегресійні моделі є прийнятними для прогнозування, тому що останні члени часового ряду потрапляють у довірчі інтервали з 95%-вою гарантійною ймовірністю. Розрахунки показали, що другий член двочленної моделі практично не впливає на отримані результати, тому можна обмежитися одночленною авторегресійною моделлю.

Визначено точковий прогноз виробництва електроенергії в Україні за кварталами 2016 року: I квартал – $\tilde{y}_9 = a_1 y_8 = 1,03 \times 44\,072,8 = 45\,395$ млн кВт/год, II квартал – $\tilde{y}_{10} = 46\,756,8$ млн кВт/год, III квартал – $\tilde{y}_{11} = 48\,159,5$ млн кВт/год, IV квартал – $\tilde{y}_{12} = 49\,604,3$ млн кВт/год.

Висновки. 1. Результати індексного аналізу показують, що в IV кварталі 2015 р. виробництво електроенергії порівняно з I кварталом 2014 р. збільшилося на 11047,1 млн кВт/год, або в 1,33 рази (33,45%). Найбільший темп зростання виробництва електроенергії порівняно з попереднім кварталом спостерігався у II кварталі 2014 р. (1,3%), найменший – у II кварталі 2015 р. (0,85%). Абсолютне значення 1% приросту у 2015 р. ці зменшується поквартально (з 471,83 до 365,63 млн кВт/год). Таким чином, розвиток електроенергетичної галузі України з виробництва електроенергії є позитивним, а її показники збільшуються.

2. За квартальними даними сезонність виробництва електроенергії має чітко виражений характер: спостерігається сезонний спад виробництва електроенергії у середині року (6%) (весняно-літній період) і підйом наприкінці року на 10% (осінньо-зимовий період).

3. Для моделювання виробництва електроенергії були обрані одно- та двочленні авторегресійні моделі. Побудовані авторегресійні моделі є адекватними за критерієм Неймана та прийнятними для прогнозування, оскільки останні члени часового ряду потрапляють у довірчі інтервали з 95%-вою гарантійною ймовірністю.

4. Визначено точковий прогноз виробництва електроенергії в Україні за кварталами 2016 року: I квартал – $\tilde{y}_9 = a_1 y_8 = 1,03 \times 44\,072,8 = 45\,395$ млн кВт/год, II квартал – $\tilde{y}_{10} = 46\,756,8$ млн кВт/год, III квартал – $\tilde{y}_{11} = 48\,159,5$ млн кВт/год, IV квартал – $\tilde{y}_{12} = 49\,604,3$ млн кВт/год.

Список використаних джерел:

1. Гаврись О.М. Оптимізація систем теплопостачання із використанням економіко-математичного моделювання: [монографія] / О.М. Гаврись. – Х.: Щедра садиба плюс, 2015. – 208 с.
2. Білоцерківський О.Б. Економіко-математичне моделювання / О.Б. Білоцерківський, Н.В. Ширяєва, О.О. Замула. – Х.: НТУ «ХП», 2010. – 108 с.
3. Білоцерківський О.Б. Аналіз виробництва електроенергії в Україні з використанням показників динаміки / О.Б. Білоцерківський // Вісник НТУ «ХП». – 2008. – № 1. – С. 148–153.
4. Білоцерківський О.Б. Розробка економічної моделі виробництва електроенергії в Україні за 2000–2005 рр. / О.Б. Білоцерківський, Н.В. Ширяєва // Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми соціально-економічного розвитку підприємств». – Х.: НТУ «ХП», 2008. – С. 63–64.
5. Білоцерківський О.Б. Сучасний стан і тенденції розвитку електроенергетики України / О.Б. Білоцерківський, Н.В. Ширяєва // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП», 2015. – № 26 (1135). – С. 69–76.
6. Сінчук І.О. Вплив сезонності на споживання електроенергії на залізничних підприємствах / І.О. Сінчук, Т.М. Берідзе, А.М. Ялова, М.А. Бауліна // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Серія «Наука, освіта і практика». – 2014. – № 1/2014 (2). – С. 281–283.
7. Білоцерківський О.Б. Прогнозування операційних витрат із використанням авторегресійних моделей / О.Б. Білоцерківський, Ю.І. Лернер, П.О. Гаврись // Вісник НТУ «ХП». – 2012. – № 11. – С. 129–139.
8. Лугінін О.Є. Статистика: [підручник] / О.Є. Лугінін, С.В. Білоусова. – К.: Центр навчальної літератури, 2005. – 580 с.
9. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ukrstat.gov.ua>.
10. Елисеєва І.І. Общая теория статистики: [учебник] / И.И. Елисеєва, М.М. Юзбашев. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 656 с.

Анотация. В работе проведено моделирование часового ряда производства электроэнергии в Украине по квартальным данным 2014–2015 гг. Рассчитаны базисные и цепные показатели ряда динамики. Исследована сезонную волну. Для построения тренда применялось авторегрессионное моделирование. Сделан точечный прогноз относительно производства электроэнергии на 2016 г.

Ключевые слова: производство электроэнергии, базисные и цепные показатели ряда динамики, тренд, сезонная волна, авторегрессионные модели, точечный прогноз.

Summary. In this work time series modeling of electro-energy production in Ukraine for quarters of 2014–2015 was carried out. Basis and chain time series parameters were analytically calculated. Seasonal wave was analyzed. For the trend construction autoregressive modeling was used. A point forecast of energy production for 2016 was made.

Key words: electro-energy production, basis and chain time series parameters, trend, seasonal wave, autoregressive models, point forecast.