

ПРО ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛЕЙ РЕГРЕСІЇ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ СУМАРНОГО ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ В ОБ'ЄДНАНІЙ ЕНЕРГОСИСТЕМІ УКРАЇНИ

Михальчук В.С., магістрант, Буткевич О.Ф., д.т.н., професор
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних мереж і систем

Вступ. Прогнозування параметрів та показників режимів, зокрема сумарних та вузлових активних потужностей споживання електроенергії, є складовими комплексної задачі розроблення та реалізації режимів роботи енергосистем. Прогнозування сумарної активної потужності електроспоживання здійснюють на різних етапах планування режимів. Особливо відчутний (за наслідками) вплив точності результатів зазначеного прогнозування на етапі *короткотермінового* планування режимів, за якого прогнозування виконують щоденно, на кожную годину наступної доби. Під час ведення режимів диспетчерський персонал теж враховує результати *оперативного* та *надоперативного* прогнозування параметрів режиму (за наявності в контурі оперативного керування енергосистемою відповідних засобів прогнозування). *Оперативне* (внутрішньодобове) прогнозування параметрів режиму передбачає горизонт прогнозування від декількох хвилин до декількох годин, а прогнозування з горизонтом до 15 хвилин зазвичай називають *надоперативним*.

Від точності прогнозування значною мірою залежать, насамперед, ефективність використання енергоресурсів та генеруючого обладнання, наявність необхідних резервів генеруючої потужності, що впливають і на надійність енергопостачання. Для прогнозування параметрів режиму використовують ретроспективні дані та різні моделі і методи, зокрема і моделі, реалізовані на нейромережевому базисі. Для прогнозування обсягів електроспоживання також застосовують різні статистичні методи та моделі [1-3], зокрема: ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) – один із найпоширеніших методів для прогнозування на основі часових рядів; SARIMA (Seasonal ARIMA) – розширення ARIMA, що враховує сезонні коливання; Exponential Smoothing (експоненціальне згладжування) – використовують для моделювання даних з трендами та сезонними коливаннями; регресійні моделі – звичайна лінійна чи нелінійна регресія, може використовуватися для оцінювання впливу різних чинників.

Мета роботи – з використанням моделей регресії (лінійної, експоненціальної, логарифмічної, степеневі, поліноміальної другого порядку) та наявних ретроспективних даних виконати прогнозування погодинного сумарного електроспоживання в об'єднаній енергосистемі (ОЕС) України та оцінити точність такого прогнозування.

Матеріали та результати досліджень. Для прогнозування було використано ретроспективні дані погодинних значень активної потужності сумарного споживання електроенергії в ОЕС України у квітні-травні 2018–2020 років. В табл. 1 для прикладу наведено ретроспективні дані погодинного

сумарного електроспоживання в ОЕС України за чотири години першого квітня та першого травня 2018 – 2020 років.

Таблиця 1 – Ретроспективні дані сумарного електроспоживання в ОЕС України (МВт·год)

Година доби/ число.місяць.	Рік		
	2018	2019	2020
00-01/01.04.	16354,0	15435,8	15321,8
01-02/01.04.	15644,3	14834,0	14751,8
02-03/01.04.	15211,9	14558,7	14534,1
03-04/01.04.	15242,7	14454,0	14340,0
00-01/01.05.	13017,1	13508,0	12985,2
01-02/01.05.	12602,1	13244,1	12615,5
02-03/01.05.	12413,2	13010,9	12176,9
03-04/01.05.	12346,4	12919,5	12131,8

Використовуючи різні моделі регресії, передбачалося отримати відповідні прогнозні дані за ті ж місяці, але 2021 року. Ретроспективні реальні дані погодинних значень активної потужності сумарного споживання електроенергії в ОЕС України в зазначені місяці 2021 року було використано для порівняльного аналізу з результатами прогнозування, отриманими з використанням різних моделей регресії. Для побудови моделей було обрано п'ять типів регресії: лінійну, експоненціальну, логарифмічну, степеневу та поліноміальну другого порядку.

Лінійна регресія:

$$y = a + bx,$$

Експоненціальна регресія:

$$y = a \cdot e^{bx}$$

Логарифмічна регресія:

$$y = a + b \cdot \ln(x)$$

Степенева регресія:

$$y = a \cdot x^b$$

Поліноміальна регресія 2-го порядку:

$$y = a + b_1x + b_2x^2.$$

Обчислення параметрів моделей регресії проводилося з використанням наявної в Microsoft Office Excel функції LINEST, орієнтованої на визначення

параметрів лінійної регресії. Однак поєднання функції LINEST з іншими функціями LN(число) та EXP(число) дало змогу розрахувати коефіцієнти і для інших типів регресії.

Основний синтаксис:

LINEST(y; x; [константа]; [статистика]),

де y – діапазон значень залежної змінної – електроспоживання (МВт·год);

x – діапазон значень незалежної змінної – порядковий номер року (1,2...n);

константа (необов'язковий параметр) – логічне значення (TRUE чи FALSE), що вказує на потребу обчислення вільного члена (TRUE) чи ні (FALSE);

статистика (необов'язковий параметр) – логічне значення (TRUE чи FALSE), що вказує на потребу повертати додаткову статистичну інформацію (таку, як коефіцієнт детермінації, стандартні помилки і т.д. – тоді TRUE) чи лише визначати коефіцієнти (тоді FALSE).

Функція дає змогу визначити множину (масив) коефіцієнтів регресії та отримати додаткову статистичну інформацію.

Використання моделей регресії для прогнозування сумарного погодинного споживання електричної енергії в ОЕС України проілюструємо для першої години 1 квітня 2021 року.

В табл. 2 наведено коефіцієнти регресії, визначені з використанням зазначених засобів для першої години 1 квітня 2021 року.

Таблиця 2 – Коефіцієнти регресії

Тип регресії	Коефіцієнти регресії	
Лінійна	a	16736,1
	b	-516,1
Експоненційна	a	16754,7
	b	-0,033
Логарифмічна	a	16289,8
	b	-981,0
Степенева	a	16288,7
	b	-0,062
Поліноміальна 2 порядку	a	18076,4
	b ₁	-2124,5
	b ₂	402,1

Прогнозовані обсяги сумарного споживання електричної енергії в ОЕС України для першої години першого квітня 2021 року визначено з використанням обчислених коефіцієнтів моделей регресії (табл. 2), враховуючи, що прогнозування здійснюється на 2021 рік, який має четвертий номер у послідовності (для прогнозування використано ретроспективні дані трьох попередніх років – 2018, 2019, 2020):

$$y = a + bx = 16736,1 + (-516,1) \cdot 4 = 14671,7 \text{ МВт} \cdot \text{год}$$

$$y = a \cdot e^{bx} = 16754,7 \cdot e^{-0,033 \cdot 4} = 14706,4 \text{ МВт} \cdot \text{год}$$

$$y = a + b \cdot \ln(x) = 16289,8 + (-981,0) \cdot \ln(4) = 14929,8 \text{ МВт} \cdot \text{год}$$

$$y = a \cdot x^b = 16288,7 \cdot 4^{-0,062} = 14948,6 \text{ МВт} \cdot \text{год}$$

$$y = a + b_1x + b_2x^2 = 18076,4 + (-2124,5) \cdot 4 + 402,1 \cdot 4^2 = 16012,0 \text{ МВт} \cdot \text{год}.$$

Аналогічно було визначено прогнозовані обсяги погодинного сумарного споживання електроенергії в ОЕС України для інших дат 2021 року. В табл. 3 наведено такі прогнозовані та відповідні фактичні (ретроспективні) значення для чотирьох годин квітня і травня 2021 року.

Таблиця 3 – Прогнозовані та фактичні обсяги погодинного сумарного електроспоживання в ОЕС України (МВт·год)

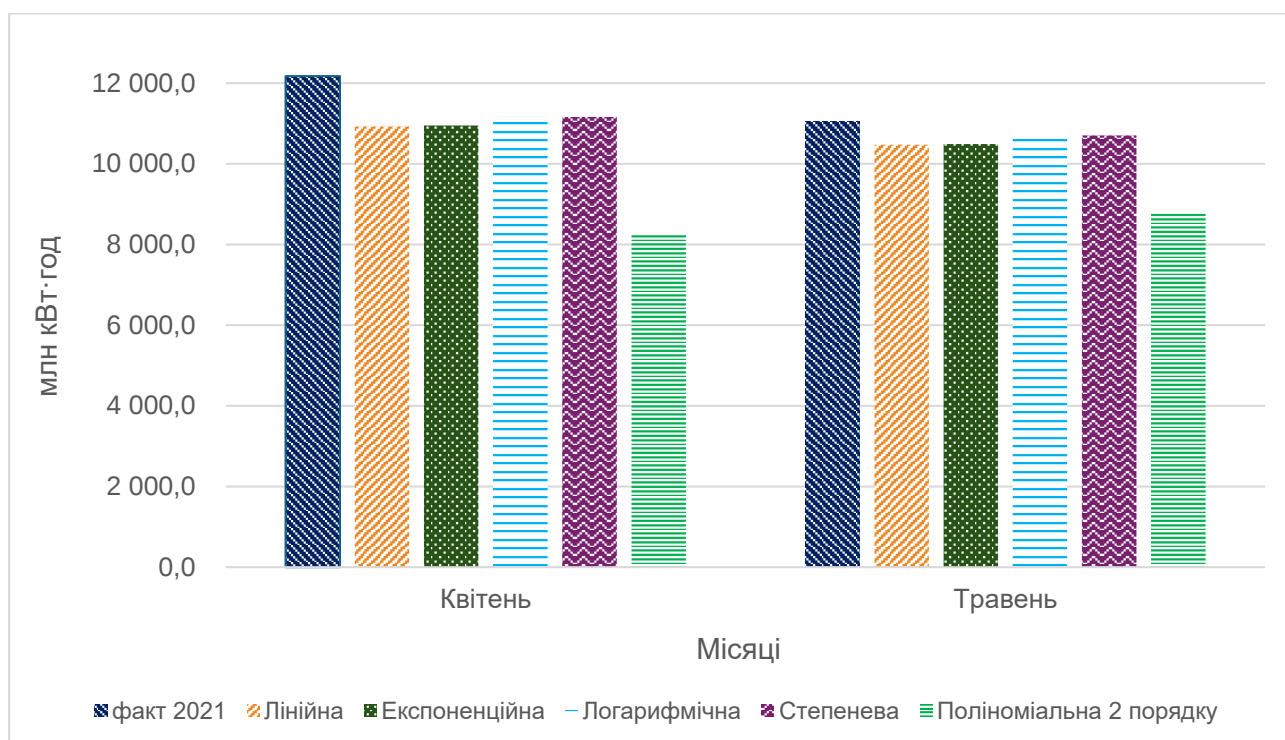
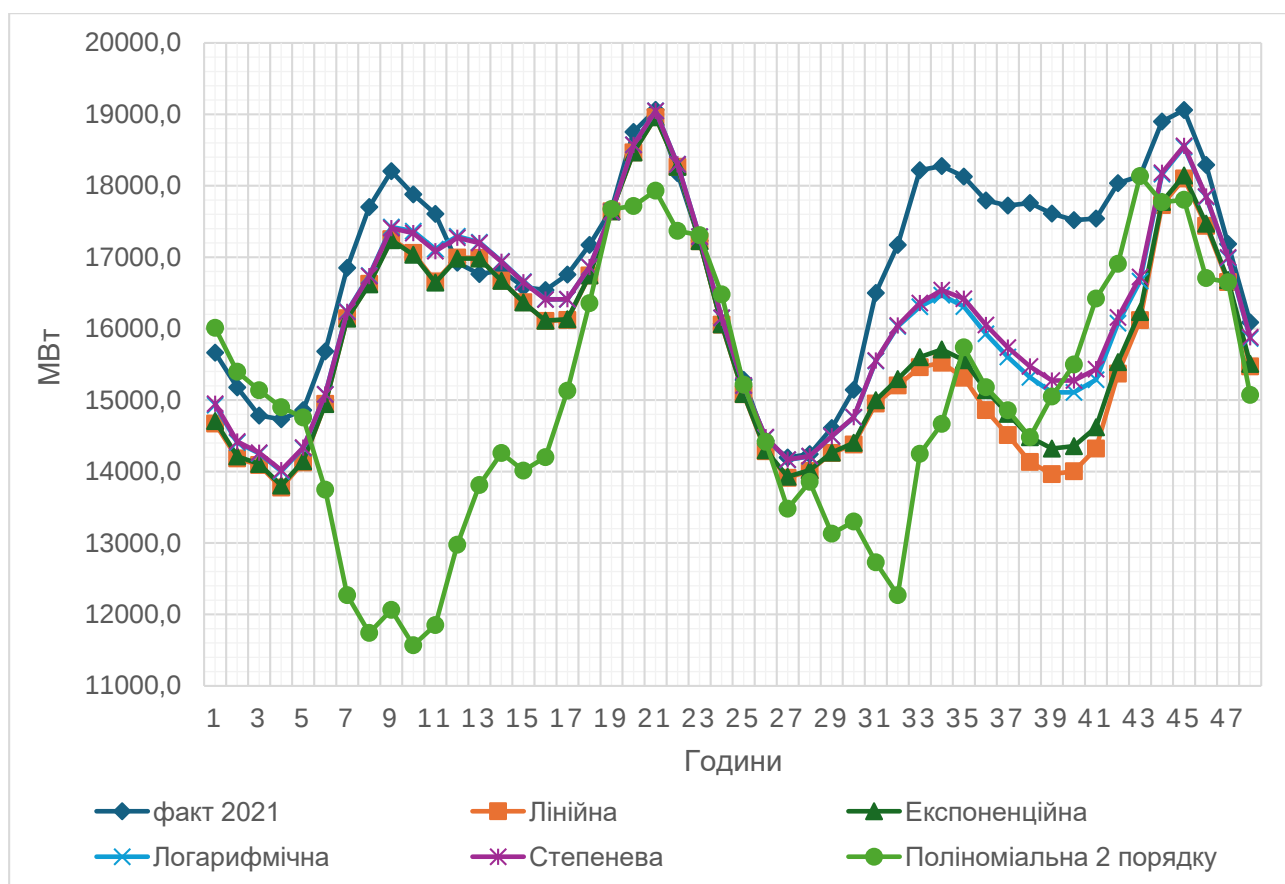
Година доби/ дата	Регресія					Фактичне споживання
	лінійна	експонен- ційна	логариф- мічна	степенева	поліномі- альна 2-го порядку	
1/01.04.2024	14671,7	14706,4	14929,8	14948,6	16012,0	15663,8
2/01.04.2024	14184,2	14211,5	14405,4	14420,2	15397,8	15178,0
3/01.04.2024	14090,4	14107,0	14253,7	14262,9	15138,0	14783,6
4/01.04.2024	13776,1	13804,4	14003,6	14018,8	14900,7	14731,3
1/01.05.2024	13138,3	13135,8	13209,9	13207,1	11448,7	14417,0
2/01.05.2024	12833,9	12830,7	12907,8	12904,2	10716,4	13788,4
3/01.05.2024	12297,5	12290,4	12455,6	12447,0	9911,2	13347,8
4/01.05.2024	12251,2	12244,8	12398,6	12390,9	9983,1	13285,2

На рис. 1 показано результати прогнозування з використанням моделей регресії та фактичні значення погодинного сумарного електроспоживання (МВт·год) в ОЕС України в перші дві доби квітня 2021 року.

Прогнозовані та фактичні обсяги сумарного споживання електричної енергії (млн кВт·год) в ОЕС України у квітні та травні 2021 року наведено в табл. 4 та графічно зображено на рис. 2.

Таблиця 4 – Прогнозовані та фактичні обсяги споживання електричної енергії (млн кВт·год) в ОЕС України у квітні та травні 2021 року

Квітень 2021 року					
Лінійна регресія	Експоненційна регресія	Логарифмічна регресія	Степенева регресія	Поліноміальна регресія 2 порядку	Фактичне споживання
10 927,5	10 949,9	11 163,0	11 159,3	8 238,0	12 173,5
Травень 2021 року					
Лінійна регресія	Експоненційна регресія	Логарифмічна регресія	Степенева регресія	Поліноміальна регресія 2 порядку	Фактичне споживання
10 474,5	10 487,4	10 706,8	10 702,4	8 762,6	11 061,7



Для оцінювання точності прогнозування використано середню абсолютну похибку у відсотках – *MAPE* (*Mean Absolute Percentage Error*):

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \cdot 100\%$$

де n – кількість порівнювальних значень (відповідно до кількості годин),

A_t – фактичне значення за t -ту годину,

F_t – прогнозоване значення за t -ту годину.

Результати обчислення *MAPE* наведено в табл. 5.

Таблиця 5 – Середня абсолютна похибка у відсотках – *MAPE*

MAPE, %				
Лінійна регресія	Експоненційна регресія	Логарифмічна регресія	Степенева регресія	Поліноміальна регресія 2-го порядку
7,64	7,50	5,59	5,63	26,51

Результати визначення максимальних похибок прогнозування з використанням різних моделей регресії, результати наведено в табл. 6.

Таблиця 6 – Максимальні похибки прогнозування

Лінійна регресія	Експоненційна регресія	Логарифмічна регресія	Степенева регресія	Поліноміальна регресія 2-го порядку
35,0%	34,2%	28,2%	28,4%	91,9%

Висновки:

1. Серед досліджуваних моделей регресії за точністю результатів прогнозування погодинного сумарного електроспоживання в ОЕС України дещо краще показали себе логарифмічна та степенева моделі. Обчислені *MAPE* (5,59% та 5,63% відповідно) можна вважати умовно прийнятними в аспекті можливості практичного використання цих двох моделей.

2. Усі прогнозовані обсяги сумарного електроспоживання у квітні та травні 2021 року, отримані з використанням регресійних моделей, виявилися меншими від відповідних фактичних.

Перелік посилань

1. Демиденко Е.З. Линейная и нелинейная регрессии. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 302 с.
2. Літнарів Р.М. Побудова і дослідження математичної моделі за джерелами експериментальних даних методами регресійного аналізу. Навчальний посібник, МЕНУ, Рівне, 2011. – 140 с.
3. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами. – М.: Мир, 1973. – 958 с.