

## ДИНАМІКА ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ ТА ЇЇ ПРОГНОЗУВАННЯ

©2018 ГЛОТОВ Є. О., ПОПОВА О. М.

УДК 336.001.57.004

## Глотов Є. О., Попова О. М. Динаміка виробництва електроенергії в Україні та її прогнозування

Метою статті є виявлення трендовості вироблення електроенергії тепловими, атомними та гідроелектростанціями в Україні на основі фрактального аналізу та її прогнозування. У роботі зроблено фрактальний аналіз виробництва електроенергії тепловими, атомними та гідроелектростанціями протягом 2001–2017 рр. та прогноз на 2018 р. Для аналізу таких часових рядів було використано метод Гарольда Едвіна Херста (R/S-аналіз). Метод Херста дозволяє проаналізувати часові ряди та розрізнити випадкові та фрактальні часові ряди, а також зробити висновки щодо наявності неперіодичних циклів, довготривалої пам'яті та ін. Фрактальний аналіз часових рядів виробництва електроенергії тепловими, атомними та гідроелектростанціями у 2001–2017 р. в Україні дав змогу визначити, що вони належать до антиперсистентних. Оскільки антиперсистентні часові ряди мають властивість «повернення до середнього», тому для прогнозування були обрані методи експоненційного згладжування та ковзного середнього.

**Ключові слова:** тренд, фрактальний аналіз, часові ряди, R/S-аналіз, антиперсистентний часовий ряд, персистентний часовий ряд, ковзне середнє.

**Рис.:** 2. **Табл.:** 5. **Формул.:** 9. **Бібл.:** 15.

**Глотов Євген Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри економіко-математичних методів та інформаційних технологій, Харківський інститут фінансів Київського національного торговельно-економічного університету (пер. Плетньовський, 5, Харків, 61003, Україна)

**E-mail:** glotov1950@ukr.net

**Попова Ольга Миколаївна** – старший викладач кафедри економіко-математичних методів та інформаційних технологій, Харківський інститут фінансів Київського національного торговельно-економічного університету (пер. Плетньовський, 5, Харків, 61003, Україна)

УДК 336.001.57.004

UDC 336.001.57.004

## Глотов Е. А., Попова О. Н. Динамика производства электроэнергии в Украине и её прогнозирование

## Hlotov Ye. O., Popova O. M. The Dynamics of Electricity Production in Ukraine and its Forecasting

Целью данной статьи является выявление трендовости выработки электроэнергии тепловыми, атомными и гидроэлектростанциями в Украине на основе фрактального анализа и её прогнозирование. В работе произведен фрактальный анализ производства электроэнергии тепловыми, атомными и гидроэлектростанциями в период 2001–2017 гг. и сделан прогноз на 2018 г. Для анализа таких временных рядов в данной работе был использован метод Гарольда Эдвина Херста (R/S-анализ). Метод Херста позволяет проанализировать временные ряды и различать случайные и фрактальные временные ряды, а также сделать выводы о наличии неперіодических циклов, долговременной памяти и т. д. Фрактальный анализ временных рядов производства электроэнергии тепловыми, атомными и гидроэлектростанциями в 2001–2017 гг. в Украине позволил определить, что они относятся к антиперсистентным. Поскольку антиперсистентные временные ряды имеют свойство «возвращение к среднему», потому для прогнозирования были выбраны методы экспоненциального сглаживания и скользящего среднего.

The article is aimed at identifying the trend relevance of electricity generation by thermal, nuclear, and hydro power plants in Ukraine on the basis of fractal analysis together with its forecasting. The publication carries out a fractal analysis of electricity production by thermal, nuclear, and hydro power plants in the period from 2001 to 2017, and makes forecast for 2018. For analyzing of such time series, the publication uses the method of Harold Edwin Hirst (R/S-analysis). The Hirst method allows to analyze time series and distinguish random and fractal time series, as well as make conclusions about the presence of non-recurrent cycles, long-term memory, etc. A fractal analysis of time series of electricity production by thermal, nuclear, and hydro power plants in 2001–2017 in Ukraine allowed to determine that they come under antipersistent. Because the antipersistent time series have a quality of «return to average», the exponential smoothing and moving average methods have been selected for the forecasting.

**Ключевые слова:** тренд, фрактальный анализ, временные ряды, R/S-анализ, антиперсистентный временной ряд, персистентный временной ряд, скользящее среднее.

**Keywords:** trend, fractal analysis, time series, R/S-analysis, antipersistent time series, persistent time series, moving average.

**Рис.:** 2. **Табл.:** 5. **Формул.:** 9. **Библ.:** 15.

**Fig.:** 2. **Tbl.:** 5. **Formulae:** 9. **Bibl.:** 15.

**Глотов Евгений Александрович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой экономико-математических методов и информационных технологий, Харьковский институт финансов Киевского национального торгового-экономического университета (пер. Плетневский, 5, Харьков, 61003, Украина)

**Hlotov Yevhen O.** – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Economic and Mathematical Methods and Information Technology, Kharkiv Institute of Finance of the Kyiv National University of Trade and Economics (5 Pletnovsky Lane, Kharkiv, 61003, Ukraine)

**E-mail:** glotov1950@ukr.net

**E-mail:** glotov1950@ukr.net

**Попова Ольга Николаевна** – старший преподаватель кафедры экономико-математических методов и информационных технологий, Харьковский институт финансов Киевского национального торгового-экономического университета (пер. Плетневский, 5, Харьков, 61003, Украина)

**Popova Olga M.** – Senior Lecturer of the Department of Economic and Mathematical Methods and Information Technology, Kharkiv Institute of Finance of the Kyiv National University of Trade and Economics (5 Pletnovsky Lane, Kharkiv, 61003, Ukraine)

Електрична енергія – універсальний, технічно й економічно найефективніший вид енергії, її широко використовують у промисловому виробництві, будівництві, забезпечуючи в такий спосіб роботу різних механізмів і агрегатів, на електротранспорті (трамваї, тролейбуси, електропотяги), а також

в усіх інших видах господарської діяльності, у побуті (освітлення, використання радіо- й телеапаратури, побутові прилади, комп'ютери). Питома частка електроенергетики у промисловому виробництві становить зараз близько 12%. На сьогодні в Україні є ще вітрові, сонячні електростанції, які поки що дають не дуже

значну частину в загальному виробництві електроенергії (теплові електростанції – 44%, атомні – 47%, гідроелектростанції – 5%, інші – 4%) [15]. Оскільки виробництво електроенергії стає пріоритетом економічної стратегії України, то завдання дослідження динаміки виробництва електроенергії та її прогнозування в Україні є досить актуальним. Особливо коли мова йде про вибір статистично обґрунтованих методів прогнозування, що дає змогу своєчасно попереджувати про виникнення проблем у виробництві електроенергії та приймати ефективні управлінські рішення для стимулювання виробництва електроенергії (зокрема, таких електростанцій, як теплові, атомні та гідроелектростанції). Щоб отримати достовірний прогноз, треба дослідити часові ряди виробництва електроенергії основними електростанціями України та встановити, чи їх поведінка породжується детермінованим законом, чи вони повністю випадкові, тобто здійснити фрактальний аналіз та визначити тенденції їх розвитку і встановити найкращі методи прогнозування.

Метою дослідження в даній статті є виявлення трендовості вироблення електроенергії тепловими, атомними та гідроелектростанціями в Україні на основі фрактального аналізу та її прогнозування.

Як продемонстрували чисельні дослідження останніх десятиліть, реалізація більшості досліджуваних у природі, техніці, економіці динамічних процесів мають фрактальну геометрію (тобто складаються з подібних елементів). Фрактальним аналізом займалися вітчизняні та зарубіжні науковці А. Аніс та Е. Ллойд [1], Б. Мандельборт [2; 3], Е. Петерс [4; 9; 10], В. Дубницький [5], І. Ликов [6], Н. Новікова [7], Е. Найман [8], Г. Бистрай [13] та ін.

Незважаючи на наявність значної кількості наукових праць у даній сфері, проблеми прогнозування вироблення електроенергії в Україні з урахуванням фрактальних властивостей часових рядів є недостатньо вивченим і потребують подальшого вивчення. Зокрема, залишається недостатньо розробленими методи виявлення трендовості невеликих часових рядів, до яких можна віднести показники вироблення електроенергії в Україні впродовж невеликого проміжку часу (десять років). Для аналізу фрактальних властивостей таких часових рядів, які являють собою показники вироблення електроенергії в Україні, використовують метод Херста [11], або, як його ще називають, R/S-аналіз [1–10; 12]. Розроблені теоретичні підходи до фрактального аналізу невеликих часових рядів поки що так і залишаються теорією, яка не знайшла достатнього застосування у практичній діяльності. Деякі описові результати в даній сфері, отримані науковим співтовариством за останні роки, не завжди узгоджуються між собою, а іноді й суперечать один одному.

Метод Херста (R/S-аналіз) застосовується для аналізу фрактальних властивостей економічних сис-

тем по часових рядах, від економіки регіону до макроекономіки, та може вказувати поведінку таких систем [1–6]. Часто на практиці вивчаються системи (від сонячних плям, середньорічних значень випадання опадів до фінансових ринків, часових рядів економічних показників), які не є нормально розподіленими або близькими до неї. Для аналізу таких систем Херстом [11, с. 116] було запропоновано метод нормованого розмаху (RS-аналіз). Головним чином даний метод дозволяє розрізнити випадкові та фрактальні часові ряди, а також робити висновки про наявність неперіодичних циклів, довготривалої пам'яті та ін.

У роботах [1–4; 9; 10; 12] наведено алгоритм визначення показника Херста, який характеризує фрактальні властивості числових рядів. Алгоритм визначення показника Херста такий:

1. На основі вихідного ряду  $Y_t$  розрахувати логарифмічні відносини:

$$N_t = Ln \frac{Y_t}{Y_{t+1}}. \quad (1)$$

2. Розділити ряд  $N_t$  на  $A$  суміжних періодів довжиною  $n$  так, щоб  $A \cdot n = N_t$ . Відзначимо кожний період як  $I_a$ , де  $a = 1, 2, 3, \dots, A$ . Визначимо для кожного  $I_a$  середнє значення:

$$E(I_a) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n N_{k,a}, \quad (2)$$

де  $k$  – кількість значень у кожному суміжному періоді.

3. Розрахувати відхилення від середнього значення для кожного періоду  $I_a$ :

$$X_{k,a} = \sum_{i=1}^k (N_{i,a} - E(I_a)). \quad (3)$$

4. Розрахувати розмах у межах кожного періоду:

$$R_{I_a} = \max(X_{k,a}) - \min(X_{k,a}). \quad (4)$$

5. Розрахувати стандартне відхилення для кожного періоду:

$$S_{I_a} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (N_{k,a} - E(I_a))^2}. \quad (5)$$

6. Кожен  $R_{I_a}$  ділити на  $S_{I_a}$ . Далі розрахувати середнє значення  $R/S$ :

$$R/S(n) = \frac{\sum_{a=1}^A R/S(A)}{A}. \quad (6)$$

7. Кроки 2–6 повторювати при збільшенні  $n$  до величини  $N_t$  ( $n \leq N_t$ ).

8. Побудувати графік залежності  $\log(R/S(n))$  від  $\log(n)$  і за допомогою МНК (метод найменших квадратів) знайти регресію вигляду:

$$\log(R/S(n)) = H \times \log(n) + c, \quad (7)$$

де  $H$  – показник Херста.

Показник Херста для аналізу економічних показників може приймати такі значення:

1.  $0 \leq H < 0,5$  часовий ряд є антиперсистентним, або ергодичним (у технічних процесах це – «рожевий шум»), спостерігається контртрендовість, схильність часового ряду до постійної зміни тенденції (зростання змінюється спаданням та навпаки). Чим ближче його значення до нуля, тим ряд більш мінливий, або волатильний. Такий тип системи часто називають «повернення до середнього».

2.  $H = 0,5$  – числовий ряд абсолютно випадковий, а при великій кількості спостережень – стохастичний («білий шум»);

3.  $0,5 < H \leq 1$  – персистентний часовий ряд («чорний шум»), спостерігається тренд, збереження тенденції до зростання чи спадання показника як у минулому, так і в майбутньому.

Отже, відмінність показника Херста від 0,5 є своєрідним відображенням фрактальних властивостей процесів, які породжують часові ряди. Використання властивості персистентності (антиперсистентності) дозволяє порівняно просто і надійно спрогнозувати подальший розвиток досліджуваного процесу на основі даних про його історію.

У роботах [5; 13; 14] було показано, що всі співвідношення відносно показника Херста справедливі для відносно коротких часових рядів, що досить актуально при дослідженні вироблення електроенергії в Україні, коли статистична інформація на тривалий час відсутня.

Розглянемо застосування показника Херста (R/S-методу) для аналізу вироблення електроенергії тепловими, атомними та гідроелектростанціями в Україні у 2001–2017 рр.

Для виявлення трендовості показників вироблення електроенергії в Україні та їх прогнозування були взяті дані Державної служби статистики України (табл. 1) [15].

Згідно з алгоритмом знаходження показника Херста та даних табл. 1 були знайдені статистичні показники для часового ряду  $Y_1$ , які наведені в табл. 2 і потрібні для знаходження показника Херста.

Для знаходження показника Херста знайдемо залежність  $\ln(R/S)$  від  $\ln(n)$  та по нахилу лінійного тренду знайдемо тангенс кута, який і буде показником Херста. Для проведення регресійного та дисперсійного аналізу скористаємось табличним процесором Excel інструментом Регресія табл. 3.

Як видно з регресійного та дисперсного аналізу (див. табл. 3), усі параметри часового ряду  $Y_1$  достовірні ( $P$ -значення  $< 0,05$ ), тому для знаходження теоретичних даних часового ряду можна записати таке рівняння:  $Y_1 = 0,3438 \cdot X_1 + 0,1357$ , для якого  $R^2 = 0,99$ . Для визначення показника Херста представимо його в такому вигляді:  $\ln(R/S) = 0,3438 \cdot \ln(n) + 0,1357$ .

Аналогічно були визначені рівняння для часового ряду  $Y_2$ :  $Y_2 = 0,34 \cdot X_1 + 0,132$ , для якого  $R^2 = 0,99$ . Для знаходження показника Херста рівняння для  $Y_2$  запишемо так:  $\ln(R/S) = 0,34 \cdot \ln(n) + 0,1320$ . А для часового ряду  $Y_3$ :  $Y_3 = 0,334 \cdot X_1 + 0,154$ , для якого

Таблиця 1

Вироблення електроенергії в Україні тепловими, атомними електростанціями та гідроелектростанціями у 2001–2017 рр.

Рік	$Y_1$ (теплові електростанції), млрд кВт·год	$Y_2$ (атомні електростанції), млрд кВт·год	$Y_3$ (гідроелектростанції), млрд кВт·год
2001	85	76	12
2002	86	78	10
2003	89,5	81,4	9,4
2004	83,2	87	11,9
2005	84,7	88,8	12,5
2006	90,1	90,2	11,5
2007	93,4	92,5	10,3
2008	91,2	89,8	11,5
2009	78,7	82,9	11,5
2010	86,5	89,2	13,2
2011	93,6	90,2	10,9
2012	97,1	90,1	11
2013	95,5	83,2	14,5
2014	82,8	88,4	9,3
2015	67,5	87,6	6,9
2016	72,2	81	9,2
2017	58,7	84,9	10,1

Таблиця 2

Статистичні показання визначення показника Херста для часового ряду вироблення електроенергії тепловими станціями ( $Y_t$ ) в Україні у 2001–2017 рр.

Довжина ряду підперіоду ( $n$ ) =	2	4	6	8	10	12	14	16
Сер. знач. =	0,026	-0,001	0,016	-0,010	0,010	0,010	-0,016	-0,023
Max =	0,014	0,041	0,046	0,071	0,085	0,085	0,111	0,118
Min =	-0,014	-0,072	-0,089	-0,138	-0,157	-0,157	-0,188	-0,184
$R = \text{Max} - \text{Min} =$	0,028	0,113	0,135	0,209	0,242	0,242	0,299	0,302
$S =$	0,020	0,050	0,047	0,070	0,074	0,068	0,092	0,101
$R/S =$	1,414	2,277	2,873	3,000	3,278	3,573	3,250	2,990
Сер. знач. $R/S =$	1,414	1,846	2,188	2,391	2,568	2,736	2,809	2,832
$\text{Ln}(R/S) =$	0,347	0,613	0,783	0,872	0,943	1,006	1,033	1,041
$\text{Ln}(n) =$	0,7	1,4	1,8	2,1	2,3	2,5	2,6	2,8

Таблиця 3

### Результати регресійного та дисперсійного аналізу

ВИВЕДЕННЯ ПІДСУМКІВ						
Регресійна статистика						
Множинний $R$	0,9938					
$R$ -квадрат	0,9877					
Нормований $R$ -квадрат	0,9856					
Стандартна похибка	0,0292					
Спостереження	8					
Дисперсійний аналіз						
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значущість F</i>	
Регресія	1	0,4093503	0,40935	481,2758	5,86E-07	
Залишок	6	0,0051033	0,00085			
Разом	7	0,4144536				
	<i>Коефіцієнти</i>	<i>Стандартна похибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-значення</i>	<i>Нижні 95%</i>	<i>Верхні 95%</i>
$Y$ -перетин	0,1357	0,0332738	4,07814	0,006516	0,054277	0,217113
Змінна $X_1$	0,3438	0,0156712	21,9379	5,86E-07	0,305449	0,382141

$R^2 = 0,99$ , рівняння для знаходження показника Херста буде таким:  $\text{Ln}(R/S) = 0,334 \cdot \text{Ln}(n) + 0,154$ . Таким чином, нормований розмах  $R/S$  – величина, зростаюча для усіх часових рядів. Для часового ряду  $Y_1$  показник Херста  $H = 0,3438$ , для  $Y_2$   $H = 0,34$ , для  $Y_3$   $H = 0,334$ .

Усі часові ряди  $Y_1, Y_2, Y_3$  мають показник Херста  $0 \leq H < 0,5$ , тому їх можна віднести до антиперсистентних часових рядів. Відмінні значення показника Херста часових рядів  $Y_1, Y_2, Y_3$  від 0,5 демонструють наявність фрактальних властивостей та дозволяють встановити тенденції вироблення електроенергії в Україні, врахувати особливості часових рядів для ви-

бору адекватних методів прогнозування. Часові ряди  $Y_1, Y_2, Y_3$  не мають тренду та характеризуються як «повернення до середнього», а це вказує на те, що як математичну модель для прогнозування даних часових рядів можна вибрати середнє ковзне або експоненційне згладжування [8; 9; 13; 14].

Для вибору одного з двох методів прогнозування потрібно провести обчислювальний експеримент і за мінімальним середньоквадратичним відхиленням вибрати адекватну модель для подальшого прогнозування вироблення електроенергії



електростанціями України. При використанні методу експоненційного згладжування була використана формула Брауна:

$$F_{t+1} = A_t \times \alpha + (1 - \alpha) \times F_t, \quad (8)$$

де  $F_{t+1}$  – новий прогноз;  $F_t$  – прогноз в останній період;  $A_t$  – фактичний результат в останній період;  $\alpha$  – константа згладжування ( $\alpha = 0,1-0,9$ ).

Для знаходження найкращого коефіцієнта згладжування  $\alpha$  були зроблені прогнозні розрахунки для  $\alpha = 0,1-0,9$  і за найменшим середньоквадратичним відхиленням ( $\sigma$ ) між фактичними даними та прогнозними був вибраний коефіцієнт згладжування ( $\alpha$ ) для прогнозування вироблення електроенергії електростанціями (рис. 1).

На рис. 1 символом  $\Delta$  позначено різниця між статистичними даними та розрахованими за методом професора Брауна. Аналогічні розрахунки було зроблено і для інших електростанцій. Початкове значення  $F_t$  можна вибрати двома способами:

1 спосіб – як середнє арифметичне статистичних даних рис. 1.

2 спосіб – приймається за початкове прогнозне значення вироблення електроенергії у 2001 р.

У роботі був вибраний спосіб 2, який дає менше середньоквадратичне відхилення фактичних і теоретичних даних порівняно зі способом 1.

Для розрахунку середньоквадратичного відхилення була використана функція СТАНДОТКЛОН табличного процесора MS Excel. Результати обчислень середньоквадратичних відхилень ( $\sigma$ ) фактичних і теоретичних даних вироблення електроенергії електростанціями, які розглядаються в даній роботі, зведено до табл. 4.

Таким чином, мінімальні значення середньоквадратичних відхилень статистичних значень вироблення електричної енергії від прогнозних такі: для теплових електростанцій  $\sigma_m = 7,74$  при  $\alpha = 0,9$ ; для атомних електростанцій  $\sigma_a = 4,114$  при  $\alpha = 0,8$ ; для гідроелектростанцій  $\sigma_z = 1,771$  при  $\alpha = 0,1$ .

Згідно з фрактальним аналізом як метод прогнозування може бути вибраний і метод ковзного серед-

нього. Для вибору методу прогнозування порівнюємо середньоквадратичні відхилення статистичних значень вироблення електричної енергії від прогнозних для метода ковзного середнього та експоненційного згладжування. Згладжування за допомогою ковзного середнього засноване на тому, що в середніх величинах взаємно погашаються випадкові відхилення. Це відбувається внаслідок заміни первинних рівнів часового ряду середньою арифметичною величиною всередині обраного інтервалу часу. Згладжений ряд коротше початкового на  $(n-1)$  спостережень, де  $n$  – величина інтервалу згладжування. Для прогнозування методом ковзного середнього використаємо формулу:

$$Y_{t+1} = m_{t-1} + \frac{1}{n} \times (Y_t - Y_{t-1}), \quad (9)$$

де  $t+1$  – прогнозний період;  $t$  – період, що передуює прогнозному періоду (рік, місяць і т. ін.);  $Y_{t+1}$  – прогнозований показник;  $m_{t-1}$  – змінна середня за два періоди до прогнозного;  $n$  – число рівнів, що входять в інтервал згладжування;  $Y_t$  – фактичне значення досліджуваного явища за попередній період;  $Y_{t-1}$  – фактичне значення досліджуваного явища за два періоди, що передують прогнозному. Число рівнів, що входять в інтервал згладжування, розраховуємо рівним 3 ( $n = 3$ ), оскільки кількість статистичних даних невелика і дорівнює 17.

Розраховані ковзні середні для часових рядів  $Y_1, Y_2, Y_3$  і середнє квадратичне відхилення наведено на рис. 2.

На рис. 2 символом  $\Delta$  позначено різниця між статистичними даними  $Y_1, Y_2, Y_3$  і значеннями ковзного середнього. Таким чином, середньоквадратичні відхилення при використанні метода ковзного середнього значне менше, тому методом прогнозування вироблення електроенергії тепловими, атомними та гідроелектростанціями в Україні рекомендується вибрати метод ковзного середнього. При використанні метода ковзного середнього в розрахунках беруть участь всі рівні ряду. Чим ширше інтервал згладжування, тим більш плавним виходить тренд. При великих значеннях  $n$  коливання згладженого ряду значно знижується. Водночас помітно скорочується кількість

Таблиця 4

Порівняння середньоквадратичних відхилень статистичних значень вироблення електричної енергії від прогнозних на теплових, атомних та гідроелектростанціях України за 2001–2017 р. для різних коефіцієнтів згладжування ( $\alpha = 0,1-0,9$ )

Теплові електростанції									
$\alpha$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$\sigma_m$	10,28	9,87	9,4	8,96	8,58	8,28	8,04	7,87	7,74
Атомні електростанції									
$\sigma_a$	4,863	4,87	4,641	4,416	4,255	4,159	4,115	4,114	4,145
Гідроелектростанції									
$\sigma_z$	1,771	1,812	1,851	1,892	1,935	1,981	2,026	2,07	2,156

$A_t$	$F_{t+1}$ $\alpha=0,1$	$\Delta$	$F_{t+1}$ $\alpha=0,2$	$\Delta$	$F_{t+1}$ $\alpha=0,3$	$\Delta$	$F_{t+1}$ $\alpha=0,4$	$\Delta$	$F_{t+1}$ $\alpha=0,5$	$\Delta$	$F_{t+1}$ $\alpha=0,6$	$\Delta$	$F_{t+1}$ $\alpha=0,7$	$\Delta$	$F_{t+1}$ $\alpha=0,8$	$\Delta$	$F_{t+1}$ $\alpha=0,9$	$\Delta$
85,0	85,0	0,0	85,0	0,0	85,0	0,0	85,0	0,0	85,0	0,0	85,0	0,0	85,0	0,0	85,0	0,0	85,0	0,0
86,0	85,0	1,0	85,0	1,0	85,0	1,0	85,0	1,0	85,0	1,0	85,0	1,0	85,0	1,0	85,0	1,0	85,0	1,0
89,5	85,1	4,4	85,2	4,3	85,3	4,2	85,4	4,1	85,5	4,0	85,6	3,9	85,7	3,8	85,8	3,7	85,9	3,6
83,2	85,5	-2,3	86,1	-2,9	86,6	-3,4	87,0	-3,8	87,5	-4,3	87,9	-4,7	88,4	-5,2	88,8	-5,6	89,1	-5,9
84,7	85,3	-0,6	85,5	-0,8	85,6	-0,9	85,5	-0,8	85,4	-0,6	85,1	-0,4	84,7	0,0	84,3	0,4	83,8	0,9
90,1	85,2	4,9	85,3	4,8	85,3	4,8	85,2	4,9	85,0	5,1	84,9	5,2	84,7	5,4	84,6	5,5	84,6	5,5
93,4	85,7	7,7	86,3	7,1	86,7	6,7	87,1	6,3	87,6	5,8	88,0	5,4	88,5	4,9	89,0	4,4	89,6	3,8
91,2	86,5	4,7	87,7	3,5	88,7	2,5	89,6	1,6	90,5	0,7	91,2	0,0	91,9	-0,7	92,5	-1,3	93,0	-1,8
78,7	87,0	-8,3	88,4	-9,7	89,5	-10,8	90,3	-11,6	90,8	-12,1	91,2	-12,5	91,4	-12,7	91,5	-12,8	91,4	-12,7
86,5	86,1	0,4	86,5	0,0	86,2	0,3	85,6	0,9	84,8	1,7	83,7	2,8	82,5	4,0	81,3	5,2	80,0	6,5
93,6	86,2	7,4	86,5	7,1	86,3	7,3	86,0	7,6	85,6	8,0	85,4	8,2	85,3	8,3	85,5	8,1	85,8	7,8
97,1	86,9	10,2	87,9	9,2	88,5	8,6	89,0	8,1	89,6	7,5	90,3	6,8	91,1	6,0	92,0	5,1	92,8	4,3
95,5	87,9	7,6	89,7	5,8	91,1	4,4	92,3	3,2	93,4	2,1	94,4	1,1	95,3	0,2	96,1	-0,6	96,7	-1,2
82,8	88,7	-5,9	90,9	-8,1	92,4	-9,6	93,6	-10,8	94,4	-11,6	95,1	-12,3	95,4	-12,6	95,6	-12,8	95,6	-12,8
67,5	88,1	-20,6	89,3	-21,8	89,5	-22,0	89,3	-21,8	88,6	-21,1	87,7	-20,2	86,6	-19,1	85,4	-17,9	84,1	-16,6
72,2	86,0	-13,8	84,9	-12,7	82,9	-10,7	80,6	-8,4	78,1	-5,9	75,6	-3,4	73,2	-1,0	71,1	1,1	69,2	3,0
58,7	84,7	-26,0	82,4	-23,7	79,7	-21,0	77,2	-18,5	75,1	-16,4	73,6	-14,9	72,5	-13,8	72,0	-13,3	71,9	-13,2
$\sigma =$		10,28		9,87		9,4		8,96		8,58		8,28		8,04		7,87		7,74

Рис. 1. Прогнозування вироблення електричної енергії тепловими електростанціями України у 2001–2017 рр. методом професора Брауна для  $\alpha = 0,1-0,9$  згідно з даними табл. 1

Рік	Y <sub>1</sub> (теплові електростанції), млрд кВт·год	Y <sub>2</sub> (атомні електростанції), млрд кВт·год	Y <sub>3</sub> (гідроелектро-станції), млрд кВт·год	Ковзне середнє, Y <sub>1</sub> , млрд кВт·год	Δ	Ковзне середнє, Y <sub>2</sub> , млрд кВт·год	Δ	Ковзне середнє, Y <sub>3</sub> , млрд кВт·год	Δ
2001	85	76	12						
2002	86	78	10	86,83	-0,83	78,47	-0,47	10,47	-0,47
2003	89,5	81,4	9,4	86,23	3,27	82,13	-0,73	10,43	-1,03
2004	83,2	87	11,9	85,80	-2,60	85,73	1,27	11,27	0,63
2005	84,7	88,8	12,5	86,00	-1,30	88,67	0,13	11,97	0,53
2006	90,1	90,2	11,5	89,40	0,70	90,50	-0,30	11,43	0,07
2007	93,4	92,5	10,3	91,57	1,83	90,83	1,67	11,10	-0,80
2008	91,2	89,8	11,5	87,77	3,43	88,40	1,40	11,10	0,40
2009	78,7	82,9	11,5	85,47	-6,77	87,30	-4,40	12,07	-0,57
2010	86,5	89,2	13,2	86,27	0,23	87,43	1,77	11,87	1,33
2011	93,6	90,2	10,9	92,40	1,20	89,83	0,37	11,70	-0,80
2012	97,1	90,1	11	95,40	1,70	87,83	2,27	12,13	-1,13
2013	95,5	83,2	14,5	91,80	3,70	87,23	-4,03	11,60	2,90
2014	82,8	88,4	9,3	81,93	0,87	86,40	2,00	10,23	-0,93
2015	67,5	87,6	6,9	74,17	-6,67	85,67	1,93	8,47	-1,57
2016	72,2	81	9,2	66,13	6,07	84,50	-3,50	8,73	0,47
2017	58,7	84,9	10,1						
	σ =								
					3,58		σ =		2,25
								σ =	1,16

Рис. 2. Ковзні середні для часових рядів Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub>, Y<sub>3</sub> і середньоквадратичні відхилення (σ)

спостережень, що створює труднощі при прогнозуванні. Вибір інтервалу згладжування залежить від цілей дослідження. При цьому слід керуватися тим, в який період часу відбувається дія, а отже, і усунення впливу випадкових факторів. Прогноз вироблення електроенергії тепловими, атомними та гідроелектростанціями в Україні на 2018 р. наведено в *табл. 5*.

Таблиця 5

**Прогноз вироблення електроенергії в Україні на 2018 р. з використанням методу ковзного середнього**

Електро-станції	Теплові	Атомні	Гідро-електро-станції
Млрд кВт · год	61,63	85,8	9,03

**ВИСНОВКИ**

За допомогою обчислювального експерименту по методу Херста над даними вироблення електроенергії тепловими, атомними та гідроелектростанціями в Україні з 2001 по 2017 рр. було доведено, що вони належать до антиперсистентних часових рядів ( $0 \leq H < 0,5$ ). Оскільки антиперсистентні часові ряди мають властивість «повернення до середнього», то методами прогнозування були обрані метод експоненційного згладжування та ковзного середнього. Вибір адекватного методу прогнозування робився за найменшим середньоквадратичним відхиленням статистичних даних від прогнозних. У роботі за мінімальним значенням середньоквадратичного відхилення методом прогнозування вироблення електроенергії тепловими, атомними та гідроелектростанціями в Україні на 2018 р. було вибрано метод ковзного середнього. Метод ковзного середнього дав можливість спрогнозувати вироблення електроенергії тепловими електростанціями (61,63 млрд кВт · год.), атомними (85,8 млрд кВт · год.), гідроелектростанціями (9,03 млрд кВт · год.) в Україні на 2018 р.

Вироблення електроенергії тепловими електростанціями (ТЕС і ТЕЦ) у 2017 р. зменшилося на 18,7% порівняно з 2016 р., зважаючи на гострий дефіцит вугілля через військові дії на Донбасі. Але, як показує зроблений прогноз, вироблення електроенергії тепловими електростанціями у 2018 р. зросте майже на 5%. Вироблення електроенергії атомними електростанціями, частка яких в загальному виробництві електроенергії на сьогоднішній день становить майже 60%, збільшиться до 85,8 млрд кВт\*год. у 2018 р., що на 1,1% більше, ніж у 2017 р. Вироблення електроенергії гідроелектростанціями у 2018 р., як показує прогноз, зменшиться на 11,8%.

Для покращення стану в енергетиці (для значного збільшення вироблення електроенергії в Україні) потрібні програми з підтримки розвитку вироблення електроенергії на державному рівні; надання державних гарантій щодо проектів, які передбачають впровадження нових видів техніки та нових маловідходних,

ресурсозберігаючих технологічних процесів, які використовуються на електростанціях; створення сприятливого інвестиційного клімату, що дозволить залучити кошти іноземних інвесторів із світового фінансового ринку для модернізації електростанцій в Україні. ■

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Anis, A. A., Lloyd, E. H. The Expected Value of the Adjusted Rescaled Hurst Range of Independent Normal Sums. *Biometrika*. 1976. Vol. 63. No. P. 111–116.
2. Mandelbrot, B., Hudson, R. L. The Misbehavior of Markets: A Fractal View of Financial Turbulence. Basic Books, 2006. 368 p.
3. Mandelbrot, B. B. The Fractal Geometry of Nature. New York: W. H. Freeman and Co, 1982. 468 p.
4. Peters, E. Chaos and Order in the Capital Markets. 2nd ed. New York: John Wiley, 1996. 288 p.
5. Дубницький В. Ю., Єрмаков К. В. Вибір методу прогнозування вартості цінних паперів з урахуванням фрактальної вимірності ряду спостережень. *Бізнес Інформ*. 2011. № 7 (1). С. 120–121.
6. Лыков И. А., Охотников С. А. Влияние изменения функции Херста на возможности экономического прогнозирования. *Фундаментальные исследования*. 2013. № 10. С. 1539–1544.
7. Новикова Н. Б. Фрактальные методы и концепция экономически минимальных производственных систем в управлении инновациями. *Вестник ЮРГТУ (НПИ)*. 2011. № 2. С. 162–166.
8. Найман Э. Расчёт показателя Херста с целью выявления трендовости (персистентности) финансовых рынков и макроэкономических индикаторов. *Економіст*. 2009. № 10. С. 18–28.
9. Петерс Э. Фрактальный анализ финансовых рынков: Применение теории Хаоса в инвестициях и экономике. М.: Интернет-трейдинг, 2004. 304 с.
10. Петерс Э. Хаос и порядок на рынках капитала. М.: Мир, 2000. 336 с.
11. Херст Г. Э. Долгосрочная вместимость водохранилищ // Труды Американского общества гражданских инженеров, 1951. С. 770–808.
12. Clegg, R. G. A practical guide to measuring the hurst parameter. *International Journal of Simulation Modelling*. 2006. Vol. 7. Issue 2. P. 3–14.
13. Методы нелинейной динамики в анализе и прогнозировании экономических систем регионального уровня/Г. П. Быстрой, Л. А. Коршунов, И. А. Лыков, Н. Л. Никулина, С. А. Охотников. Журнал экономической теории. 2010. № 3. С. 103–114.
14. Шелухин О. И., Осин А. В., Смольский С. М. Самоподобие и фракталы. М.: Физматлит, 2008. 368 с.
15. Сайт Державної служби статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>

**REFERENCES**

Anis, A. A., and Lloyd, E. H. "The Expected Value of the Adjusted Rescaled Hurst Range of Independent Normal Sums". *Biometrika*. Vol. 63, no. 1 (1976): 111-116.

Bystray, G. P. et al. "Metody nelineynoy dinamiki v analize i prognozirovaniy ekonomicheskikh sistem regionalnogo



urovnya" [Methods of nonlinear dynamics in the analysis and forecasting of regional economic systems]. *Zhurnal ekonomicheskoy teorii*, no. 3 (2010): 103-114.

Clegg, R. G. "A practical guide to measuring the hurst parameter". *International Journal of Simulation Modelling*. Vol. 7, no. 2 (2006): 3-14.

Dubnytskyi, V. Yu., and Yermakov, K. V. "Vybir metodu prohnzovuvannya vartosti tsinnykh paperiv z urakhuvanniam fraktalnoi vymirnosti riadu sposterezhen" [The choice of the method of forecasting the value of securities, taking into account the fractal dimensionality of a number of observations]. *Biznes Inform*, no. 7 (1) (2011): 120-121.

Kherst, G. E. "Dolgosrochnaya vmestimost vodokhranilishch" [Long-term capacity of reservoirs]. In *Trudy Amerikanskogo obshchestva grazhdanskikh inzhenerov*, 770-808, 1951.

Lykov, I. A., and Okhotnikov, S. A. "Vliyaniye izmeneniya funktsii Khersta na vozmozhnosti ekonomicheskogo prognozirovaniya" [The impact of the change in Hurst's function on the possibility of economic forecasting]. *Fundamentalnyye issledovaniya*, no. 10 (2013): 1539-1544.

Mandelbrot, B. B. *The Fractal Geometry of Nature*. New York: W. H. Freeman and Co, 1982.

Mandelbrot, B., and Hudson, R. L. *The Misbehavior of Markets: A Fractal View of Financial Turbulence*. Basic Books, 2006.

Nayman, E. "Raschet pokazatelya Khersta s tselyu vyyavleniya trendovosti (persistentnosti) finansovykh rynkov i makroekonomicheskikh indikatorov" [Calculation of the Hurst index in order to identify the trend (persistence) of financial markets and macroeconomic indicators]. *Ekonomist*, no. 10 (2009): 18-28.

Novikova, N. B. "Fraktalnyye metody i kontseptsiya ekonomicheskimi minimalnykh proizvodstvennykh sistem v upravlenii innovatsiyami" [Fractal methods and the concept of economically minimal production systems in innovation management]. *Vestnik YuRGU (NPI)*, no. 2 (2011): 162-166.

Peters, E. *Chaos and Order in the Capital Markets*. New York: John Wiley, 1996.

Peters, E. *Fraktalnyy analiz finansovykh rynkov: Primeneniye teorii Khaosa v investitsiyakh i ekonomike* [Fractal Analysis of Financial Markets: Applying Chaos Theory in Investments and Economics]. Moscow: Internet-treiding, 2004.

Peters, E. *Khaos i poryadok na rynkakh kapitala* [Chaos and order in the capital markets]. Moscow: Mir, 2000.

Sait Derzhavnoi sluzhby statystyky Ukrainy. <http://www.ukrstat.gov.ua/>

Shelukhin, O. I., Osin, A. V., and Smolskiy, S. M. *Samopodobnye i fraktaly* [Self-similarity and fractals]. Moscow: Fizmatlit, 2008.