

А. В. Волошко, д-р техн. наук, проф.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Я.С. Бедерак, канд. техн. наук, ORCID 0000-0002-2669-0965
ПрАТ «АЗОТ», м. Черкаси
Т.Е. Джеря, аспірантка
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ХЕРСТА ПРИ ФРАКТАЛЬНОМУ АНАЛІЗІ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Метою дослідження є перевірка гіпотези правильності застосування показника Херста H , розрахованого за емпіричним співвідношенням при значенні константи a , що дорівнює $0,5$. Проведено ряд розрахунків показника Херста для декількох вибірок електроспоживання методом нормованого розмаху при значенні константи a , що дорівнює $0,5$, які показали, що застосування емпіричного співвідношення для деяких вибірок електроспоживання призводить до великих похибок у визначенні цього показника. Запропоновано визначати значення показника H або програмним шляхом (для вибірок, що містять більше 512 часових інтервалів n), або шляхом визначення методом найменших квадратів нахилу лінії регресії, яка утворюється з'єднанням точок, одержаних відкладанням по осі x $\lg n$, а по осі y $\lg(R/S)$, де R/S - нормований розмах.

Ключові слова: графік електричного навантаження, електроспоживання, показник Херста, метод нормованого розмаху.

Вступ. На промислових підприємствах не буває зниження втрат електроенергії та зменшення витрат на її оплату без точного та своєчасного прогнозування величини електроспоживання. Прогнозування електричних навантажень надає вихідну інформацію, яка є необхідною для планування нормальних режимів роботи, узгодження більш вигідних умов електроспоживання з енергосистемою, забезпечення якості електроенергії, що в підсумку впливає на кінцеву вартість продукції, яка виготовляється підприємством.

Проведення передпрогнозного аналізу електричних навантажень дозволяє вибрати декілька найефективніших методів прогнозування для певного споживача в конкретних умовах, що зменшить час проведення прогнозу та підвищить його якість. Однією із головних складових передпрогнозного аналізу є фрактальний аналіз електричних навантажень, який застосовується в основному для оцінки персистентності часових рядів.

Задачею фрактального аналізу будь-якого часового ряду є виявлення наявності в ньому довгострокової пам'яті, а також визначення значення показника Херста, виявлення трендостійкості. Знання перерахованих фрактальних характеристик часового ряду, який розглядається, дозволяє оцінити аналітику та перспективність надійного прогнозування часового ряду електричних навантажень [1].

Результати дослідження добових, тижневих, місячних, річних графіків електричного навантаження (ГЕН), які наведені в роботі [2], показали наявність фрактальних властивостей (персистентності, наприклад) і наявність короткострокової та довгострокової пам'яті. Це дозволяє застосувати для ефективного прогнозування та керування електроспоживанням фрактальний аналіз, який встановлює залежність подальших значень від ретроспективної інформації.

Херст запровадив наступну формулу:

$$R/S = (an)^H, \quad (1)$$

де a – деяка константа; n – число неспостережень; H – показник Херста.

Після прологарифмування рівності (1) визначається показник Херста:

$$H = \frac{\ln(R/S)}{\ln(an)}. \quad (2)$$

Відкладаючи по осі x $\lg n$, а по осі y $\lg(R/S)$ виходять точки, за якими, використовуючи метод найменших квадратів, будується лінійна регресія. Нахил отриманої лінії регресії дає значення показника Херста. При побудові R/S - траєкторії необхідно враховувати, що R/S - аналіз через алгоритмічну особ-

ливість не обчислює координати (x_τ, y_τ) , відповідно до двох перших рівнів досліджуваного часового ряду, тобто для $\tau = 1$ и $\tau = 2$. Тому пропонується нумерувати точки вказаних траєкторій, починаючи з номера 3.

Значення показника Херста можливо також отримати для вибірок із більш ніж 512 значеннями, використовуючи програму «Fractan».

Разом із використанням показника Херста для аналізу тенденції, оцінки автокореляційного впливу попередніх значень динамічного ряду на його наступні значення і визначення майбутніх тенденцій обчислюють характерне кореляційне співвідношення $C = 2^{2H-1} - 1$, де C – міра кореляції.

Для багатьох часових рядів спостережуваний нормований розмах R/S дуже добре описується емпіричним співвідношенням [3]

$$\frac{R}{S} = (n/2)^H. \quad (3)$$

Із цього співвідношення випливає, що

$$H = \frac{\ln(R/S)}{\ln(0,5n)}. \quad (4)$$

У роботі [4] виконаний розрахунок показника Херста H за формулою (3) для часового ряду електроспоживання насосної станції очищення стоків промислового підприємства. Розрахункові дані H співпали із значенням сталої, яку отримали програмним шляхом. Розрахунок виконувався за алгоритмом, який наведений у роботах [5, 6].

Проте є сумніви в тому, що формула (3) розрахунку показника Херста H може застосовуватись для всіх ГЕН виробничих об'єктів.

Мета та задачі. Метою даної роботи є з'ясування правильності застосування для розрахунку показника Херста значення константи a , яка рівна 0,5; визначення істинного способу розрахунку показника Херста при виконанні фрактального аналізу електричних навантажень.

Матеріал та результати досліджень.

Для порівняння розглядаються 3 об'єкти: насосна станція для очищення стоків та 2 цехи аміаку великого хімічного промислового підприємства.

Лічильником електроенергії, який було встановлено на вводі 10 кВ підстанції насосної станції очищення промислових стоків енергоємного хімічного підприємства за 30 днів 201... року, були зібрані та передані в базу даних автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії значення активної потужності з 15-ти хвилинним інтервалом усереднення. Отриманий таким способом часовий ряд складає за місяць 2880 значень (рис. 1). Таким чином, число спостережень $n=2880$ штук.

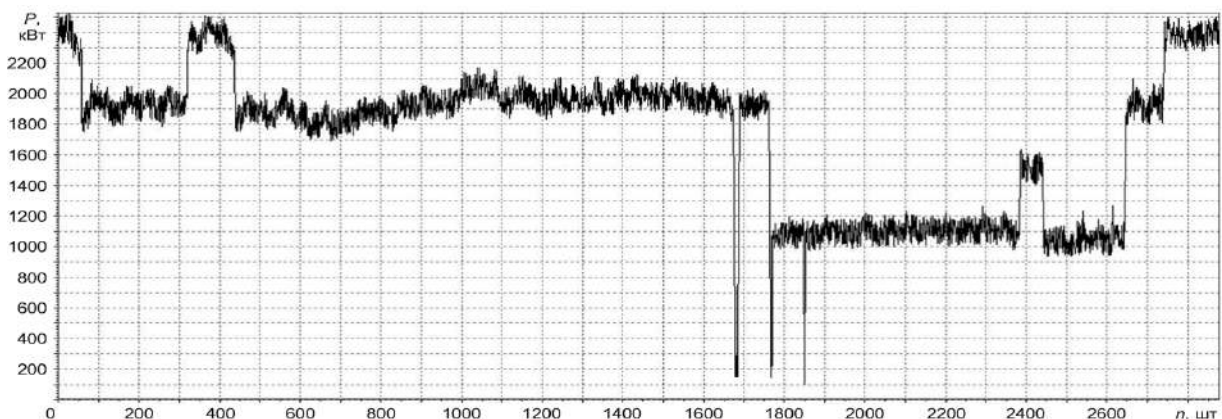


Рис. 1. Динаміка електроспоживання насосної станції за 30 днів (2880 показників)

Для обробки також використовуються добові графіки двох цехів випуску аміаку, які працювали цілодобово.

Електропостачання цехів здійснювалося з підстанції 110/6 кВ, на вводах якої встановлені лічильники комерційного обліку. Для дослідження застосовуються реальні добові погодинні графіки цехів по виробництву аміаку за 31 день літнього місяця 201... року. Графік електричного навантаження цеху аміаку №1 представлено на рис. 2, цеху аміаку №2 – на рис. 3.

За віссю X відкладено число спостережень у годинах, за віссю Y – потужність цеху в кВт.

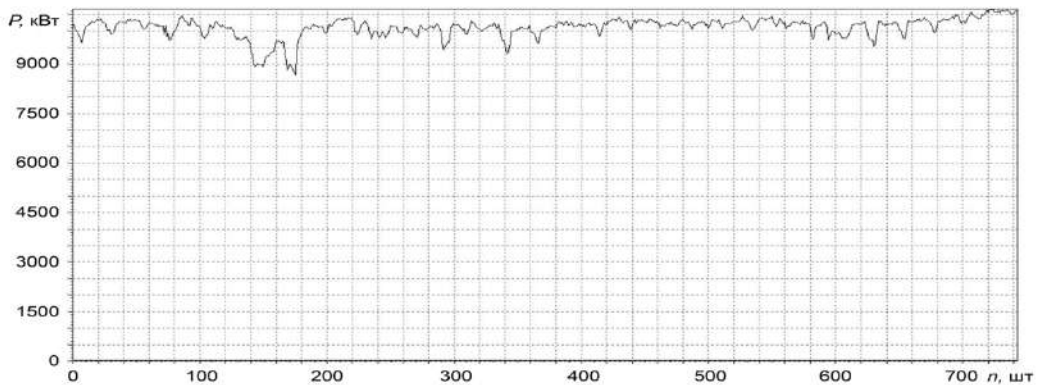


Рис. 2. Динаміка електроспоживання цеху аміаку №1 за 31 добу (744 погодинних значень)

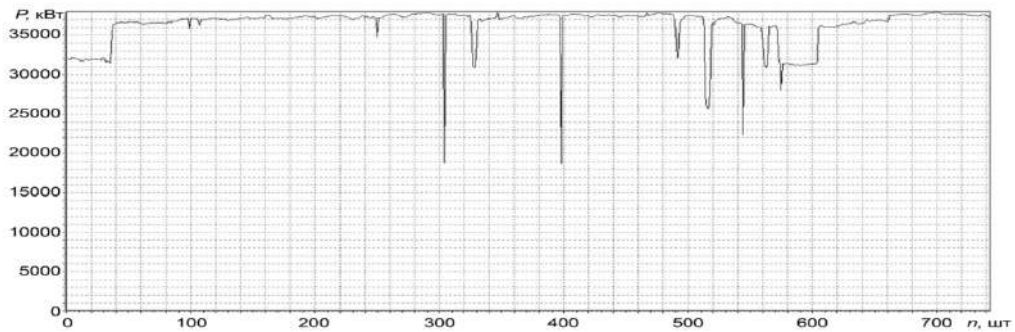


Рис. 3. Динаміка електроспоживання цеху аміаку №2 за 31 добу (744 погодинних значень)

Згідно алгоритму розрахунку показника Херста для розглянутих вибірок електроспоживання при значенні константи $a=0,5$ отримані для різних часових інтервалів значення Херста, зазначені в табл. 1.

Таблиця 1. Результати розрахунку показника Херста на виробничих об'єктах на часових інтервалах різної тривалості

Число часових інтервалів N , шт.	Розрахункові значення показника Херста H		
	Цех аміаку №1	Цех аміаку №2	Насосна станція
72	0,43	0,23	0,92
96	0,39	0,23	0,98
120	0,37	0,23	0,98
144	0,42	0,23	0,98
168	0,32	0,24	0,97
192	0,32	0,24	0,97
216	0,32	0,24	0,96
240	0,32	0,25	0,95
264	0,32	0,25	0,95
288	0,32	0,26	0,94
480	0,32	0,42	0,95
744	0,32	0,36	0,91

На рис. 4 зазначений логарифмічний графік залежності співвідношення нормованого розмаху R/S від кількості часових інтервалів в цеху аміаку №1 за 22 доби; на рис. 5 - логарифмічний графік залежності співвідношення нормованого розмаху R/S від кількості часових інтервалів в цеху аміаку №1 за 31 добу; на рис. 6 наведено логарифмічний графік залежності співвідношення нормованого розмаху R/S від кількості часових інтервалів у цеху аміаку №2 за 22 доби; на рис. 7 - логарифмічний графік залежності співвідношення нормованого розмаху R/S від кількості часових інтервалів у цеху аміаку №2 за 31 добу.

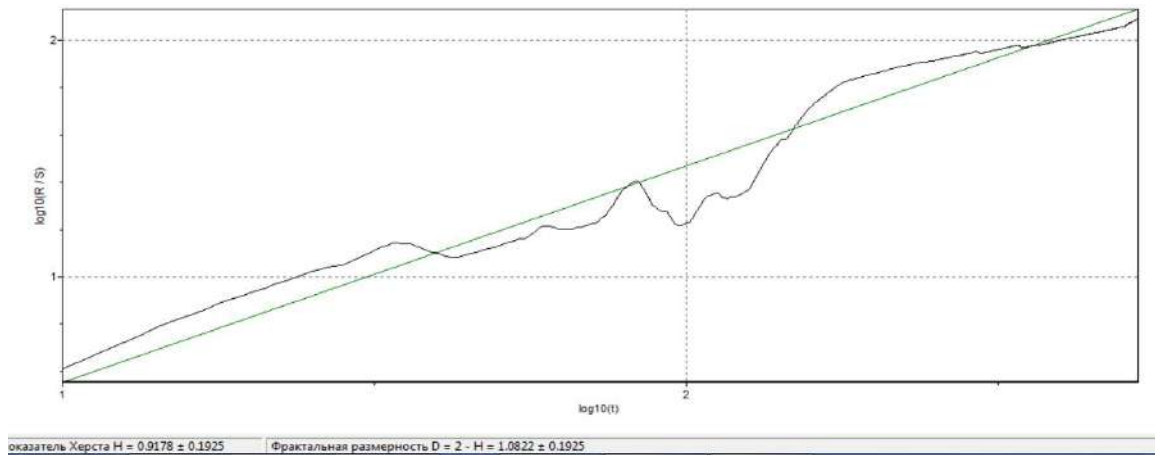


Рис. 4. Логарифмічний графік залежності співвідношення нормованого розмаху R/S від кількості часових інтервалів у цеху аміаку №1 за 22 доби (528 погодинних значень)

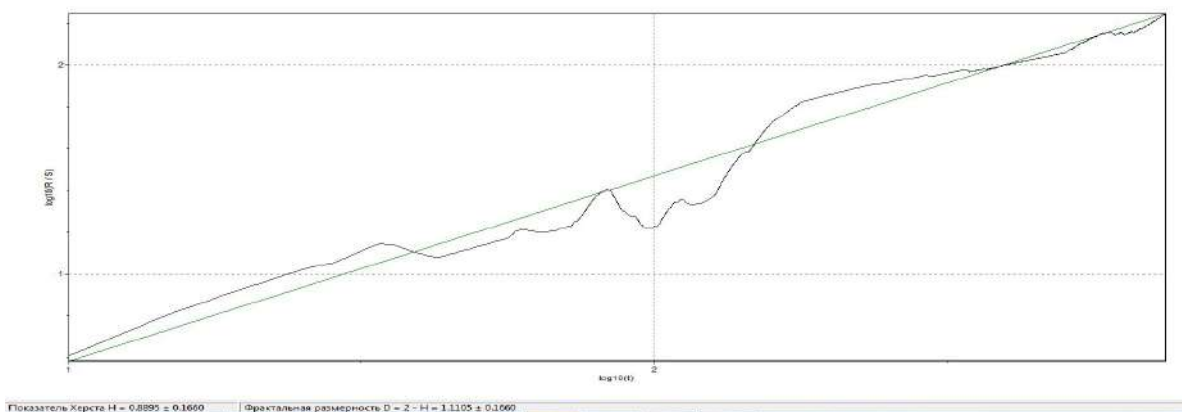


Рис. 5. Логарифмічний графік залежності співвідношення нормованого розмаху R/S від кількості часових інтервалів у цеху аміаку №1 за 31 добу (744 погодинних значень)

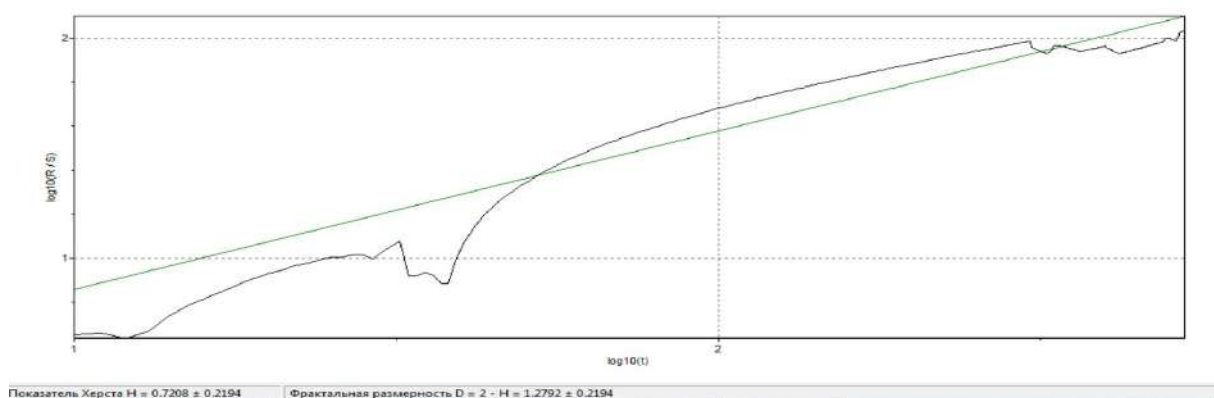
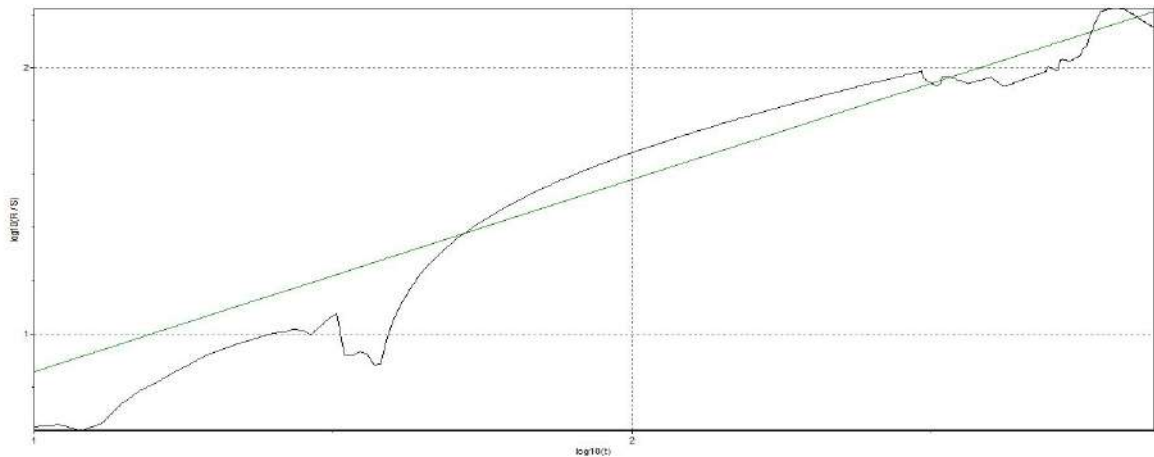


Рис. 6. Логарифмічний графік залежності співвідношення нормованого розмаху R/S від кількості часових інтервалів у цеху аміаку №2 за 22 доби (528 погодинних значень)



Показатель Херста $H = 0,7231 \pm 0,1952$ | Фрактальная размерность $D = 2 - H = 1,2769 \pm 0,1952$

Рис. 7. Логарифмічний графік залежності співвідношення нормованого розмаху R/S від кількості часових інтервалів у цеху аміаку №1 за 31 добу (744 погодинних значень)

Знизу рисунків 4, 5, 6, 7 наведено значення показника Херста H та фрактальної розмірності D .

Дані, зазначені в табл.1, свідчать про те, що часові ряди електричного навантаження в цеху аміаку №1 і цеху аміаку №2 мають низькі розрахункові значення показника Херста ($0,32 \div 0,42$) та ($0,23 \div 0,42$) відповідно. Проте значення показника Херста, які отримані програмою «Fractan» доводять, що для цеху аміаку №1 за 22 доби та за місячний інтервал часу значення H дорівнює приблизно 0,9 (рис. 4 і 5), а для цеху №2 – приблизно 0,7 (рис. 6 і 7 відповідно).

Таким чином, значення показника Херста, визначені програмним шляхом, не співпадають із розрахунковими значеннями H , наведеними в табл. 1 та отриманими методом нормованого розмаху, за умови, що константа $a=0,5$.

Із формули (1) випливає, що константа

$$a = e^{\frac{\ln(R/S) - H \ln n}{H}}$$

В табл.2 наведені результати розрахунку константи a для місячного та 22-добового погодинного ГЕН цеху аміаку №1, використовуючи алгоритм розрахунку та значення показника Херста, розраховані програмно, в табл. 3 – те саме для цеху аміаку №2.

Таблиця 2. Результат розрахунку константи a для 22-добового та місячного ГЕН цеху аміаку №1

n	S	R	H	a
528	308,15	1781,898	0,9178	0,01281574
744	299,7	1996,4	0,8895	0,01133174

Таблиця 3. Результат розрахунку константи a для 22-добового та місячного ГЕН цеху аміаку №1

n	S	R	H	a
528	2100	19282	0,7208	0,04104766
744	2221	19282	0,7231	0,0266965

Результати розрахунку константи a для ГЕН цехів аміаку №1 та №2 доводять, що для часових рядів електричних навантажень деяких виробництв не можна застосовувати формулу (3) для розрахунку показника Херста.

Виконані розрахунки доводять, що обчислення показника Херста, який є одним із основних параметрів фрактального передпрогнозного аналізу електричних навантажень, необхідно виконувати тільки використовуючи формулу Херста, а не емпіричне співвідношення при значенні константи a , що дорівнює 0,5. Дане твердження доцільно поширити й на інші часові ряди неелектричної природи.

Достовірне значення показника H необхідно отримувати або програмним шляхом (для вибірок, які містять більш ніж 512 значень), або шляхом визначення нахилу лінії регресії. Ця регресія утворюється відкладанням за віссю $x \lg n$, а за віссю $y - \lg(R/S)$, сполученням отриманих точок одна з одною, за якими, використовуючи метод найменших квадратів, будується лінійна регресія.

Висновки

1. Вперше експериментально доведена неправильність застосування у формулі розрахунку показника Херста константи a , яка дорівнює 0,5, при фрактальному аналізі електричних навантажень деяких виробничих об'єктів.

2. Запропоновано визначати показник Херста або програмним шляхом, або шляхом визначення методом найменших квадратів нахилу лінії регресії. Ця регресія утворюється відкладанням за віссю $x \lg n$, а за віссю $y - \lg(R/S)$, сполученням отриманих точок одна з одною, за якими, використовуючи метод найменших квадратів, будується лінійна регресія.

3. Необхідно при фрактальному аналізі економічних та фізичних часових рядів або не використовувати формулу Херста, або виконувати попередню перевірку співпадінь розрахункового значення показника Херста, застосовуючи у формулі значення константи a , яка дорівнює 0,5, зі значенням, яке отримане, розраховуючи нахил лінії регресії, отриманої відкладанням за віссю $x \lg n$, а за віссю $y - \lg(R/S)$.

4. Виконані дослідження дозволяють значно підвищити достовірність фрактального передпрогнозного аналізу електричних навантажень.

Список використаної літератури

1. Antonova I., Chikina N. Application of nonlinear dynamics methods in prepropriate analysis of the morbidity indicators in Ukraine by various skin pathology // Norwegian Journal of development of the International Science, 2018. – №14 (Vol. 1). – P. 48–52.

2. Lezhniuk P., Bondarchuk A., Shullie Iu. Investigation and implementation of the fractal properties of electric load on civilian objects in order to efficiently predict and control electrical consumption // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2019. – №3/5 (99). – P. 6–12.
DOI: 10.15587/1729-4061.2019.168182.

3. Федер Е. Фракталы. – Москва: Мир, 1991. – 254 с.

4. Voloshko A. V., Bederak Ya. S., Kozlovskiy O. A. An improved pre-forecasting analysis of electrical loads of pumping station // Resource-Efficient Technologies, 2019. – №4. – P. 20–29.
DOI: 10.18799/24056537/2019/4/265.

5. Шулле Ю.А. Аналіз графіків електричних навантажень промислових підприємств методом нормованого розмаху (R/S-аналіз) // Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2015. – №2. – С. 50–56.

6. Курской Ю.С. Фрактальный анализ результатов электрических измерений // Энергоснабжение. Энергетика. Энергоаудит, 2014. – №1. – С. 52–57.

A. Voloshko, Dr. Eng. Sc., Assoc. Prof.
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
Ya. Bederak, Ph.D. tech. Science, ORCID 0000-0002-2669-0965
Private Joint Stock company “AZOT” Cherkasy city
T. Dzheria, PhD student
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

COMPLEX STATISTICAL DATA ANALYSIS OF ELECTRIC POWER CONSUMPTION, CONSUMPTION OF ENERGY RESOURCES AND PRODUCTION VOLUMES

Aims of this research are development of a complex statistical analysis algorithm for active electric power consumption data, consumption of energy resources and manufacturing products, implementation of statistical analysis in practice. Proposed parameters and criteria, which can help to technical staff in factories, to provide optimal and economical operating of supply and distribution systems as electricity, water, gas, heat, compressed air, etc. for production facilities, based on the collected active electric power consumption data for previous periods, information about consumption dynamic. It is concluded that the statistical analysis of the data, obtained for each

type of engineering equipments (water supply and sewage, supply systems of compressed air, gas, electricity and steam) and various consumables coefficients (in the proposed algorithm) make possible to identify "weak areas" and to determine the most rational ways to optimize energy usage.

Keywords: power consumption, energy consumption, statistical data analysis.

REFERENCES

1. Antonova I., Chikina N. Application of nonlinear dynamics methods in prepropriate analysis of the morbidity indicators in Ukraine by various skin pathology // Norwegian Journal of development of the International Science, 2018. – №14 (Vol. 1). – P. 48–52.
2. Lezhniuk P., Bondarchuk A., Shullie Iu. Investigation and implementation of the fractal properties of electric load on civilian objects in order to efficiently predict and control electrical consumption // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2019. – №3/5 (99). – P. 6–12.
DOI: 10.15587/1729-4061.2019.168182.
3. Feder E. Fractals. - Moscow: Mir, 1991. - 254 p.
4. Voloshko Anatolii V., Bederak Yaroslav S., Kozlovskiy Oleksandr A. An improved pre-forecasting analysis of electrical loads of a pumping station // Resource-Efficient Technologies, 2019. –№4. - P. 20–29. DOI: 10.18799 / 24056537/2019/4/265.
5. Schulle YA Analysis of graphs of electrical loads of industrial enterprises by the method of normalized scale (R / S-analysis) // Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute, 2015. - (2. - P. 50– 56.
6. Kurskoy Yu.S. Fractal analysis of the results of electrical measurements // Power supply. Energy. Energoaudit, 2014. - №1. - P. 52 - 57.

Надійшла 20.10.2020

Received 20.10.2020