

УДК 004.9

Бакурова А.В.¹, Дівоча І.О.², Кійко С.Г.³, Юськів О.І.⁴

¹ д-р економ. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. НУ «Запорізька політехніка»

³ д-р тех. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

⁴ асп., НУ «Запорізька політехніка»

РЕКУРЕНТНИЙ АНАЛІЗ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ МЕТАЛУРГІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Порівняно новим методом дослідження складності динаміки систем є побудова рекурентних діаграм. Рекурентний аналіз базується на такій властивості динамічних систем як рекурентність, тобто повторюваність станів. Повторюваність є фундаментальною властивістю динамічних систем, яку можна використовувати для характеристики поведінки системи у фазовому просторі [1]. Перевага даного методу полягає в тому, що він надає можливість досліджувати багатовимірну траєкторію фазового простору за

допомогою двовимірного представлення його рекурентності, отже, наочно зобразити динамічну картину загалом. Рекурентні діаграми дозволяють судити про характер процесів, що протікають у системі, наявність та вплив шуму, дрейфу, наявність станів повторення та завмирання системи, наявність екстремальних подій, прихованої періодичності та циклічності. Метою роботи є рекурентний аналіз коротких часових рядів енергоспоживання металургійного підприємства та розробка програми у середовищі Matlab для автоматизації обчислень кількісних показників. Наукова новизна – розроблено програмне забезпечення у середовищі Matlab для короткострокового прогнозування енергоспоживання в енергосистемах на основі рекурентного аналізу часових рядів. Практична цінність результатів роботи полягає в тому, що підтверджена на реальних даних користь застосування методу рекурентного аналізу до оцінювання споживання електроенергії, що призведе до підвищення точності прогнозу його майбутньої динаміки. Дослідження проводилося на основі спостережень за складною динамічною системою погодинного споживання електроенергії ПрАТ «Дніпроспецсталь» [2]. За допомогою розробленого програмного забезпечення у середовищі Matlab було проаналізовано процес енергоспоживання на металургійному підприємстві та оцінена динаміка його кількісних показників (таблиця 1). Аналізуючи середні значення кількісних мір за 2018-2021 рр. можна зазначити, що процеси енергоспоживання, які були досліджені не є чисто випадковими процесами, на це вказує кількісний показник DET (приймає значення близьке до одиниці). Крім того, чим більше значення L, тим більша вірогідність того, що процес є детермінованим.

Таблиця 1 – Показники кількісного аналізу рекурентних діаграм

	RR	DET	L	DIV	ENTR	RATIO	LAM	TT
зимовий період								
2018	0,3791	0,7728	3,2907	0,1452	10,0034	4,4158	0,7141	3,2484
2019	0,4118	0,8211	3,2966	0,1467	11,898	3,7866	0,7455	3,4923
2020	0,3675	0,9543	7,6927	0,0434	23,9239	3,0806	0,9351	10,0549
2021	0,4386	0,8109	3,2660	0,1462	12,7020	3,7324	0,7369	3,4523
літній період								
2018	0,2959	0,7872	2,2999	0,1627	8,9675	5,5494	0,6606	3,1756
2019	0,3598	0,9548	7,9089	0,0435	23,1336	3,1477	0,9206	10,3593
2020	0,3770	0,9669	7,9860	0,0435	23,0838	3,013	0,9077	9,9727
2021	0,3491	0,9474	8,2313	0,0435	21,1106	3,2213	0,8812	10,5858

Середні значення міри ентропії (ENTR) також є доволі високими, що свідчить про складність отриманих рекурентних діаграм відносно діагональних ліній. Отже, можна зробити висновок, що досліджувані ряди

містять деяку детерміновану складову, що визначається технологічними особливостями виробничих процесів підприємства. Детерміністичні процеси дають довгі діагоналі та малу кількість окремих рекурентних точок. Середня довжина діагональних ліній, що пов'язана з часом передбачуваності динамічної системи, відповідає значенню 5,4. Середня довжина вертикальних ліній, що відображає час, протягом якого система залишається в певному стані, відповідає значенню 3,8. Середня величина міри завмирання (LAM) також є досить високою. Міра рекурентності (RR), в середньому, близька до 0,35. Виходячи з аналізу середніх значень кількісних мір за сезонами зима-літо, можна бачити, що літній період характеризується більшою передбачуваністю, а також значно вищим показником затримки, який характеризує середній час, коли система може провести в більш-менш незмінному стані. Застосування методології рекурентного аналізу до часових рядів споживання електроенергії в перспективі може призвести до позитивного економічного ефекту за рахунок підвищення енергоефективності металургійного підприємства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Marwan N. Recurrence Plots for the Analysis of Complex Systems / N. Marwan, M. C. Romano, M. Thiel, J. Kurths // *Physics Reports*. – 2007. – V. 438. – P. 237–329.
2. Кійко С. Г. Методологія предиктивної адаптації управління портфелями проєктів енергозбереження на металургійних підприємствах : дис. на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук : 05.13.22 / Кійко Сергій Геннадійович. – Запоріжжя, 2021. - 420 с.