

13. Shevchuk L. T. Vtraty liudskoho kapitalu v Ukraini: poniatiino-katehoriiniy aparat i kontseptualni polozhennia. Sotsialno-ekonomichni doslidzhennia v perekhidnyi period. Lviv:IRD NAN Ukrainy, 2007. Vyp. 3 (65). S. 9–27.

14. V. Chobitok, O. Shevchenko, O. Lomonosova, V. Kochetkov, V. Bykhovchenko Application of budget allocation models in the management of investment processes in the context of the digital economy development. Cuestiones Políticas. Vol. 39, № 71 (2021). <https://doi.org/10.46398/cuestpol.3971.35>.

15. Piketty, T. Capital in the Twenty-First Century. Harvard University Press 2014

16. Schultz, T. W. Investment in human capital. American Economic Review, 1961, 51(1), 1–17.

17. Simon, H. A. Organizations and markets. Journal of Economic Perspectives, 1991, 5(2), r. 25–44.

18. Tymoshko H. M. «The Essence of the Concept of «Administration» and «Management»», Teoriya ta Metodyka Upravlinnia Osvitou, 2011. vol.7.

19. Ukraina 2030E — kraina z rozvynutoiu tsyfrovou ekonomikoiu. URL: <https://strategy.uifuture.org/kraina-z-rozvinutoyu-cifrovoyu-ekonomikoyu.html>

DOI 10.33111/vz_kneu.35.24.02.16.110.116

УДК 339.7

Яценко Валерія

здобувач освітнього рівня доктора філософії
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
03022, вул. Васильківська 90А, м. Київ, Україна
e-mail: valeriyatsenko5@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2925-7470

ВИЯВЛЕННЯ ОЗНАК ДЕТЕРМІНОВАНОГО ХАОСУ В ДИНАМІЦІ ВАЛЮТНИХ КУРСІВ

Valeria Yatsenko

PhD student in Economics
Taras Shevchenko National University of Kyiv
03022, Vasylykivska St, 90A, Kyiv, Ukraine
e-mail: valeriyatsenko5@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2925-7470

DETERMINISTIC CHAOS IN EXCHANGE RATE RETURNS TIME SERIES

Анотація. Безперечно, валютний, як найбільший фінансовий ринок, є відкритою динамічною системою, схильною до впливу різноманітних факторів, таких як політична та економічна кон'юнктура, глобальні шоки тощо. Водночас, потрясіння валютного ринку впливають на фінансовий та реальний сектори економіки, обумовлюючи пріоритетну важливість забезпечення стабільного валютного курсу та ефективного управління валютними ризиками, яке, перш за все, вимагає їхньої коректної кількісної оцінки. Однак, традиційний спосіб вимірювання ризиків, що спирається на арсенал статистичних показників волатильності та варіації, часто демонструють зміщені, і що найбільш загрозливо, занижені оцінки фінансових або економічних ризиків з огляду іншої природи статистичних рядів та наявності шуму. Відповідно, дана робота присвячена пошуку альтернативних методів оцінки валютних ризиків шляхом застосування інструментів теорії хаосу та нелінійних динамічних систем, а саме експонент Ляпунова, які дозволяють ідентифікувати ознаки хаосу або випадкового

блукання у динаміці фінансових статистичних рядах. З огляду високого рівня торговельної відкритості, окрім динаміки гривні, також було досліджено курси валют основних імпортерів вітчизняної продукції, шоки яких можуть бути запозичені різноманітними трансмісійними каналами. Розрахунок експонент Ляпунова здійснювався за методологією, запропонованої Sandubete та Escot (2021). Таким чином, дане дослідження, доповнює існуючий масив праць у двох аспектах: по-перше, шляхом аналізу можливості використання індикаторів виявлення ознак хаосу як показників кількісної оцінки валютних ризиків, по-друге, тестування гіпотези існування хаотичної динаміки у фінансових статистичних рядах, яке, як правило, не підтверджується емпірично, втілюючись у парадоксі виявлення хаосу. В результаті виконаних розрахунків, продемонстровано, що медіанні значення експонент та власне їх кількість, тісно корелюють із стандартним відхиленням, вказуючи на зростання волатильності, а значить і ризиків, із наближеннями валютного ринку до хаосу і збільшенням рівня його складності. Як наслідок, індикатори розрізнення хаосу та випадкового блукання, на нашу думку, можна вважати показниками кількісної оцінки валютних ризиків, які спільно із традиційними статистичними показниками можуть достовірніше оцінити ризики. Крім того, дане дослідження вкотре підтверджує існування парадоксу виявлення хаосу у фінансових статистичних рядах.

Ключові слова: валютний курс, валютний ризик, хаос, випадкове блукання, прогнозування, статистичний ряд розподілу, доходність

Abstract. It is indisputable that the foreign exchange market, as the largest financial market, is an open, dynamic system affected by various factors such as the political and economic environment and global shocks. At the same time, shocks in the foreign exchange market affect the financial and real sectors of the economy. Consequently, it is important to ensure a stable exchange rate and effective management of foreign exchange risks, which requires their correct quantitative assessment. However, the traditional way of risk measurement, which includes a mix of statistical measures of volatility and variation, often shows biased and, most threateningly, underestimates of financial or economic risks due to the different nature of time series and the presence of noise. Accordingly, this paper is devoted to the search for alternative methods of currency risk assessment by applying the tools of chaos theory and nonlinear dynamical systems, namely the Lyapunov exponent, which allows identifying the signs of chaos or random walk in the dynamics of financial statistical series. Considering the significant trade openness, except for the dynamics of the hryvnia, we also investigated the exchange rates of the leading importers of domestic products. The reason is the potential transmission of shocks via different channels. The Lyapunov exponents were calculated using the methodology proposed by Sandubete and Escot (2021). Thus, this study complements the existing body of papers in two aspects. Firstly, it describes the possibility of using chaos indicators to assess currency risks quantitatively. Secondly, it contributes to testing the Model-Data Paradox of Chaos in financial time series. As a result of the calculations, it was demonstrated that the median exponents and their number are closely correlated with the standard deviation, indicating the growth of volatility, and hence risks, as the currency market approaches chaos and the level of its complexity increases. In our opinion, the indicators of the distinction between chaos and random walk can be considered indicators of a quantitative assessment of currency risks, which, along with traditional statistical indicators, can reliably assess risks. In addition, this study once again confirms the existence of the paradox of chaos detection in financial statistical series.

Key words: foreign exchange rate, currency risk, chaos, random walk, forecast, time series, returns

JEL: C4, F31

Постановка проблеми. Ямайська грошова система призвела до появи нових явищ у міжнародній економіці — волатильних вільно плаваючих валютних курсів та відповідних ризиків, актуальність дослідження яких неухильно зростає. Проте, традиційні показники, як то стандартне відхилення, асиметрія та ексцес, не завжди забезпечують необхідні рівні статистичної або економічної значущості, провокуючи отримання зміщених, і що найбільш загрозливо — занижених, оцінок ризиків і, як наслідок, прийняття неоптимальних управлінських рішень. Наприклад, статистичні показники можуть ігнорувати ймовірнісний розподіл інформації або невизначеності, не підходити розподілам з довгими «хвостами» та пам'яттю, високим рівнем варіативності та флуктуаціями, які послаблюють дію статистичних законів, або суттєвими відхиленнями від нормального розподілу [23], обумовлюючи застосування альтернативних підходів до оцінки ризиків, одним із яких виступає інструментарій теорії хаосу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найрозповсюдженішими [4; 9] і, на думку багатьох учених [3; 9; 13; 15; 17; 19; 20; 21], достовірними інструментами розрізнення ознак хаосу від випадкового блукання та оцінки рівня стабільності системи, вважаються експоненти Ляпунова (LEs) [14], які вимірюють фундаментальну характеристику нелінійних динамічних систем – їхню чутливість до змін початкових умов [4; 15; 21]. Використання LEs в економічних дослідженнях набуло значної популярності, знайшовши відображення в широкому спектрі праць закордонних вчених (табл. 1), демонструючи, втім, контroversійні результати, які втілились у черговому парадоксі, сформульованого Brock et al, згідно якого, емпіричні спроби виявлення хаосу в економічних дослідженнях зазнають невдач, попри, здавалось би, беззаперечні теоретичні припущення його існування [18].

Серед українських вчених застосування інструментів теорії хаосу до аналізу валютних і фінансових ринків також набуває популярності, зокрема Дем'янчук та Дроздина досліджували біфуркації страхового ринку України, а Соловійов та Статійчук прогнозували кризи фондового, валютного та спотових ринків на основі LE [5; 22].

Розраховані LEs можуть ефективно використовуватись при розробці та поліпшенні валютної політики, зокрема оцінки ефективності та доцільності здійснення інтервенцій [12; 21], вивчення наслідків монетарної інтеграції [2], аналізу біфуркацій, в тому числі системних ризиків, множинної рівноваги [12; 16] та ринкових очікувань [15].

Однак, застосування LEs як методів оцінки ризиків залишається, перспективним, втім, маловивченою галуззю, потребуючи подальшого дослідження. З точки зору ризик-менеджменту, LEs та ідентифікація системи як випадково блукаючої або хаотичної дозволяє: встановити можливість та горизонт прогнозування обмінного курсу, необхідного при використанні фінансового хеджування, а також покращити якість прогнозів [19]; виявити потенційні причини волатильності, що може бути результатом збурень самого валютного ринку при випадковому блуканні або чутливою реакцією обмінного курсу на зміни початкових умов, насамперед фундаментальних макрофакторів, у випадку підпорядкування законам детермінованого хаосу [2], що, в свою чергу, окреслює перспективи пріоритетного використання інструментів хеджування — фінансового при випадковому блуканні або операційного для детермінованого хаосу.

КОМПАРАТИВНИЙ АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Автори	Об'єкт дослідження	Період	Частотність даних	Наявність хаосу	Стачна значущість	Інші висновки
Sandubete et al (2023)	EUR/USD, EUR/GBP, GBP/USD	січ 2007-вер 2022	щоденні та високочастотні	Вибірково	Так	Відмінності від агрегування даних
Özkaya (2022)	рівнозважений кошик TRY/EUR та USD	02.05.2018-23.05.2022	щоденні	Так	Ні	Наявність множинної рівноваги
Sandubete та Escot (2021)	14 провідних ER	2 дні протягом лис 2018	високочастотні аперіодичні	Вибірково	Так	Недоцільність аналізу щоденних даних
Gatfaoui та de Peretti (2019)	фінансові та валютні показники	різні періоди між 1900-2019	щоденні, тижневі, місячні	Ні	Так	Результати вірні для різної частотності та часових рядів
Decena et al (2019)	PHP, EUR, JPY, KRW, CNY, HKD, SGD, THB	2013-2017	-	Ні	Ні	Нелінійність
Plakandaras et al (2018)	номінальні ER BRICS та Великої Британії проти USD	різні періоди між 1812-2017	місячні	Вибірково	Так	-
Wang et al (2014)	S&P 500 stock index	2005-2012	щоденні	Вибірково	Так	-
Lahmiri (2017)	MAD, GBP, CAD, EUR, CHF, ZAR	06.10.2009-05.07.2015	щоденні	Вибірково	Так	Відмінність у рівнях і доходах
BenSaïda and Litimi (2013)	6 фондових індексів та 6 ER	01.01.2006-21.12.2012	-	Ні	Так	Обмеження методології
Park та Whang (2012)	фінансові та валютні показники	різні періоди між 1900-2008	щоденні, тижневі, місячні	Ні	Так	Автори вказують на обмеженість висновків
Resende та Zeidan (2008)	GBP, DEM, JPY, CHF	24.10.1984-01.08.1988	щотижневі	Ні	Так	Тестування очікувань валютних курсів
Shintani та Linton (2004)	Промисловий індекс Доу-Джонса	3.01.1928-18.10.2000	щоденні	Ні	Так	Відмінність в абсолютних рівнях і доходності
Bask (1996)	Шведська крона Swedish Krona vs Deutsche Mark, ECU, USD, Yen	1986- серп 1995	щоденні	Так	Так	Отримані результати не є надійними
Frank та Stengos (1988)	статті валових витрат	1947-1971	квартальні	Ні	Ні	Автори не відкидають хаос

Джерело: узагальнено автором на основі [1; 3; 4; 6; 8; 9; 11; 12; 13; 15; 16; 17; 18; 21]

Методика дослідження. LEs представляють оцінку якісної поведінки динамічної нелінійної системи [10] визначаючи такі її параметри, як напрям (дивергенція-конвергенція) і середню швидкість експоненційного руху початково

близьких траєкторій [15; 20] (або сусідніх оберт у просторі [1]) внаслідок змін початкових умов [8; 9; 16; 18; 21], а також швидкість розповсюдження шоку траєкторією та розмір хаосу [16] (рис. 1).



Рис. 1. Кількісні значення LEs

Джерело: узагальнено автором на основі [2; 3; 13]

У контексті даного дослідження орбітами або траєкторіями виступатимуть зміни (реакції) валютного курсу, а початкові умови охоплюватимуть увесь спектр релевантної та нерелевантної інформації, що зумовлюють коливання курсу (табл. 2) [3].

Таблиця 2

СУТНІСТЬ LEs

Параметри	Негативна LE	Строго позитивна LE
Реакція на зміни "початкових умов"	індиферетна	чутлива
Стабільність системи	стабільність кожного напрямку	локальна нестабільність певного напрямку
Стійкість системи	нижча	
Напрямок експоненційного руху початково-близьких траєкторій	конвергенція, класичні аттрактори, проста регулярна динаміка	дивергенція
Швидкість руху траєкторій		швидке розходження
Вигляд динаміки	випадкове блукання	випадкове блукання
Можливість прогнозування	відсутня	наявна
Горизонт прогнозування	-	короткостроковий
ВИСНОВОК	Випадкове блукання	Хаос

Джерело: узагальнено автором на основі [2; 3; 4; 6; 9; 16; 21]

На основі аналізу існуючого масиву праць присвячених розрахунку LEs, була обрана методологія Sandubete та Escot (2021) [19], що базується на безпосередньому методі Якобіана із нейромережами. Ідентифікація хаосу в нелінійних динамічних системах — валютних ринках, здійснюватиметься на основі тестування першої нульової гіпотези:

$H_0^1: \lambda > 0$ — хаос

$H_1^1: \lambda \leq 0$ — випадове блукання

Прийняття H_0^1 вимагає отримання статистично значущої строго позитивної LE за 95 % або 99 % достовірності, що свідчатиме про існування детермінованого хаосу; чутливість систем до змін початкових умов; нижчий рівень стабільності за більшої стійкості. Навпаки, заперечення H_0^1 означатиме відсутність детермінованого хаосу на противагу випадковому блуканню; індиферентність до змін початкових умов; вищий рівень стабільності, однак, меншу стійкість системи. Перевірка статистичної значущості LEs здійснювалася на основі результату з тесту, більше позитивне (менше негативне) значення якого заперечуватиме H_0^1 [7], та р-значень з тесту, що мають наближатись до 0. Алгоритм представляє спектр LEs, що включає медіанні та середні LEs, розрахованих за допомогою методу поділу вибірки. Розрахунки були виконані в пакеті R на основі [19].

Дані. Зважаючи на високий рівень торговельної відкритості України, а значить загрозу «імпорту» екзогенних шоків, окрім власне динаміки самої гривні, до аналізу були включені валюти основних ринків збуту вітчизняної продукції, на які припадає 64,52 %¹ експорту за останні 10 років. Відповідно до методології інших досліджень, замість абсолютних значень, була використана *доходність*, представлена першою різницею логарифмів щоденних значень двосторонніх спот курсів проти долара США і торговельно зваженого індексу долара $returns_t = \log(ER_t) - \log(ER_{t-1})$. Часовий горизонт охоплює період з 2014 до червня 2023, джерелом даних є база Bloomberg.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Незважаючи на зростаючий масив літератури, присвяченій теорії хаосу та її застосуванню в економіці та фінансах, нерозв'язаними залишаються два аспекти: по-перше, парадокс виявлення ознак хаосу, згідно якого припущення про хаотичну динаміку не знаходить достовірного емпіричного підтвердження при аналізі фінансових статистичних рядів; по-друге, можливість використання LEs як методів кількісного вимірювання валютних ризиків.

Формулювання цілей статті. Метою статті виступає розрахунок LEs для статистичних рядів доходності гривні та країн основних ринків збуту вітчизняної продукції та вивчення можливостей їхнього використання як методів кількісної оцінки валютних ризиків.

Виклад основного матеріалу дослідження. Обсяг вибірки відображає дані щоденної доходності валют, використаних для побудови матриці Якобіана, найменша вибірка притаманна для CNY у кількості 2412 спостережень, найбільша — для EGP, налічуючи 3465 значень, а обсяг блоків — кількість матриць [11], на основі яких були розраховані LEs, що складає 94 для всіх випадків, за винятком EGP-99 (табл. 3).

¹ рф та білорусь із 10,76 та 4,32 % виключені з аналізу; інші країни не аналізувались з огляду незначної частки в торгівлі < 1 %

Обчислені LEs та результати перевірки H_0^1 , а саме стандартні помилки, оцінки z тесту та його p -значення, що представлені у табл. 4, вказують на статистичну значущість поведених розрахунків оскільки:

по-перше, менші від'ємні оцінки z статистики, що набувають значень від — 68,603,140 для JPY до — 124 для першої LE EGP, дозволяють впевнено відхилити H_0^1 [7], що особливо вірно для одновимірних нелінійних динамічних систем — BGN, CHF, CNY, CZK, GBP, HUF, INR, JPY, RON, EUR, USD та PLN із найбільшою оцінкою — 3195;

Таблиця 3

ПАРАМЕТРИ РОЗРАХУНКУ LEs

ISO	Sample, T	Block length, M	no.block
BGN	2473	94	1000
CHF	2475	94	1000
CNY	2410	94	1000
CZK	2475	94	1000
GBP	2476	94	1000
HUF	2476	94	1000
INR	2452	94	1000
JPY	2476	94	1000
PLN	2474	94	1000
RON	2475	94	1000
EUR	2476	94	1000
EGP	3460	99	1000
TRY	2475	94	1000
UAH	2440	94	1000
KZT	2453	94	1000
USD	2472	94	1000

Джерело: розраховано автором

по-друге, незначні стандартні помилки, що коливаються від 0.000 до 0.146 підтверджують коректність та достовірність розрахованих LEs;

по-третє, нульові p -значення z статистики засвідчують статистичну значущість від'ємних значень LEs для усіх аналізованих динамічних систем при 99 % рівні достовірності;

по-четверте, медіанні LEs, які, як правило, характеризуються кращою достовірністю порівняно із середніми LEs, для більшості систем еквівалентні, вкorte підтверджуючи коректність здійснених розрахунків LEs.

З економічної точки зору, отримані результати засвідчують, що:

по-перше, від'ємні LEs вказують на випадкове блукання доходності валютних курсів, з огляду індиферентної реакції систем на зміни початкових умов, унеможливаючи їхнє якісне прогнозування, навіть короткострокове;

Таблиця 4

LEs ТА ОЦІНКИ СТАТИСТИЧНОЇ ЗНАЧУЩОСТІ

ISO	Середня LE				Медіанна LE				Висновок	
	значення	Std. Error	z value	Pr(> z)	значення	Std. Error	z value	Pr(> z)	LE	CR
<i>Одновимірні нелінійні динамічні системи</i>										
BGN	-4.242	0.000	-2067170	0	-4.242	0.000	-2080807	0	<0	
CHF	-3.629	0.001	-40044	0	-3.629	0.001	-45079	0	<0	
CNY	-12.273	0.014	-8441	0	-12.273	0.014	-8574	0	→∞	
CZK	-3.980	0.008	-4884	0	-3.981	0.008	-4956	0	<0	
GBP	-3.305	0.002	-16454	0	-3.304	0.001	-38655	0	<0	
HUF	-3.443	0.000	-1678899	0	-3.443	0.000	-1693993	0	<0	
INR	-10.369	0.018	-5692	0	-10.369	0.018	-5721	0	→∞	
JPY	-4.387	0.000	-54088296	0	-4.387	0.000	-68603140	0	<0	
PLN	-3.943	0.012	-3195	0	-3.943	0.012	-3228	0	<0	
RON	-4.580	0.006	-7924	0	-4.580	0.006	-8014	0	<0	
EUR	-4.618	0.000	-1564342	0	-4.618	0.000	-1582351	0	<0	
USD	-9.472	0.019	-4753	0	-9.472	0.019	-4805	0	→∞	
<i>Багатовимірні нелінійні динамічні системи</i>										
EGP										
Exponent 1	-0.277	0.022	-124	0	-0.278	0.021	-129	0	→0	
Exponent 2	-0.318	0.021	-148	0	-0.318	0.021	-148	0		
Exponent 3	-0.340	0.021	-158	0	-0.338	0.021	-158	0		
Exponent 4	-0.590	0.032	-186	0	-0.590	0.030	-197	0		
TRY										
Exponent 1	-1.597	0.028	-556	0	-1.597	0.027	-564	0	<0	
Exponent 2	-1.655	0.036	-452	0	-1.652	0.032	-505	0		
UAH										
Exponent 1	-1.174	0.053	-213	0	-1.174	0.053	-215	0	<0	
Exponent 2	-1.412	0.064	-214	0	-1.411	0.064	-214	0		
Exponent 3	-2.319	0.146	-154	0	-2.320	0.144	-156	0		
KZT										
Exponent 1	-0.796	0.031	-249	0	-0.797	0.030	-260	0	→0	
Exponent 2	-0.864	0.034	-246	0	-0.863	0.033	-256	0		
Exponent 3	-0.987	0.058	-165	0	-0.983	0.055	-174	0		

Джерело: розраховано автором

по-друге, кількість розрахованих LEs визначає число ступенів свободи — факторів, що зумовлюють коливання вартості валют, а також розмірність динамічних нелінійних систем, класифікуючи їх на одно- та багатовимірні ($d = 1$ і $d \geq 2$ відповідно [11]). Так, більшість аналізованих систем є одновимірними — зміни обмінних курсів визначаються 1 детермінантою, що вірно для BGN, CHF, CNY, CZK, GBP, HUF, INR, JPY, RON, EUR, USD та PLN. Напротивагу, 4 країни, ринки яких розвиваються, відрізняються вищою розмірністю систем і складнішою природою курсоутворення, а саме — зміни TRY визначаються 2 факторами, UAH та KZT—3, а найскладніша система EGP—4, ускладнюючи аналіз динаміки місцевого фунту;

по-третє, абсолютні значення LEs надають інформацію про стабільність та стійкість нелінійних динамічних систем, що може бути використана для оцінки волатильності валютних курсів, а відтак і ризиків. Більшість валют — EUR, RON, JPY, BGN, CZK, PLN, CHF, GBP і HUF, LEs яких варіюють у помірному коридорі $[-4.618; -3.443]$ характеризуються відносною стабільністю, а відтак потенційно поміркованими ризиками. Найстабільніші системи, а значить найнижчі ризики властиві Китаю, Індії та США, яким притаманні найменші LEs— -12.273 , -10.369 і -9.472 ($\lambda \rightarrow -\infty$) відповідно. Натомість, відносно низькі LEs валютних ринків України $[-1.174; -1.412; -2.319]$, Туреччини $[-1.597; -1.655]$ та Казахстану $[-0.796; -0.864; -0.987]$ констатують нижчий рівень стабільності та більшу стійкість, сигналізують зростаючу ризикованість. Однак, найбільшим ризиком відрізняється валютний ринок Єгипту з найвищими значеннями спектру LEs $[-0.277; -0.59]$, перша експонента якого, до того ж наближається до 0 ($\lambda = -0.277 \rightarrow 0$), засвідчуючи рух системи до хаосу.

Висновки і перспективи подальших наукових досліджень. По-перше, відзначимо, що отримані результати вкотре підтверджують парадокс Brock et al, виявляючи ознаки випадкового блукання в динаміці валютних курсів на відміну від очікуваного хаосу, аналогічно до більшості праць зазначеної тематики, зокрема [3; 4; 6; 8; 11; 13; 15; 21]. З одного боку, неспроможність LEs виявити ознаки хаосу, незважаючи на високу ефективність використання у природничих науках, можна пояснити специфікою економічних або фінансових статистичних рядів, які не позбавлені шуму. Іншою ж причиною можуть виступати обмеження самого показника, чи застосовуваного алгоритму його розрахунку, обумовлюючи необхідність порівняння результатів з іншими показниками.

По-друге, з метою ідентифікації можливостей використання LEs як методу кількісної оцінки валютних ризиків, необхідним постає порівняння отриманих результатів із традиційними способами — статистичними показниками вимірювання волатильності, а саме стандартного відхилення, асиметрії та ексцесу, за допомогою кореляційного аналізу подібно до [2] (табл. 5).

Зауважимо, що досліджувались виключно статистично значущі при 95 та 99 % достовірності коефіцієнти, що засвідчують високий рівень тісноти лінійного зв'язку — 0.6 і вище. Виявлення ознак хаосу, виражені медіанними LEs та власне їх кількістю, тісно пов'язані зі стандартним відхиленням — 0,762 та 0,763, вказуючи на зростання волатильності валютних курсів (інакше ризиків) зі збільшенням значень LEs або їх кількості. Враховуючи негативні значення LEs, отримані в даному дослідженні, позитивний коефіцієнт кореляції вказує на зростання стандартного відхилення, а, отже і ризиків, із наближеннями валютного

ринку до стану хаосу або іншими словами рухом LEs до 0, що також вірно і при ускладненні системи — більша кількість факторів, що зумовлюють зміни обмінних курсів асоціюються із більшою варіацією, а значить більшими ризиками.

Таблиця 5

КОРЕЛЯЦІЙНИЙ АНАЛІЗ LEs ТА СТАТИСТИЧНИХ ОЦІНОК ВАЛЮТНИХ РИЗИКІВ

	Стандартне відхилення	Асиметрія	Експес	Медіанна LE	Кількість LE
Стандартне відхилення	1				
Асиметрія	0.430	1			
Експес	0.425	0.763 ¹	1		
Медіанна LE	0.762	0.393	0.468	1	
Кількість LE	0.763	0.855	0.802	0.600	1

Джерело: розраховано автором

Тісно пов'язаними між собою виявились і кількість LEs з характеристиками форм розподілів (асиметрія та експес), демонструючи зростання кількості факторів, що зумовлюють волатильність валютних курсів із збільшенням ймовірності надмірних змін доходності валют. Проте, всупереч економічній інтуїції, відсутньою при 95 % рівні достовірності виявилась достовірна кореляція медіанних

Таким чином, індикатори розрізнення хаосу та випадкового блукання у вигляді LEs, на нашу думку, можна вважати показниками кількісної оцінки валютних ризиків, як, наприклад, стандартне відхилення.

Література

1. Bask, M. (1996). Dimensions and Lyapunov exponents from exchange rate series. *Chaos Solitons & Fractals*, 7, p. 2199–2214 [https://doi.org/10.1016/s0960-0779\(96\)00080-x](https://doi.org/10.1016/s0960-0779(96)00080-x)
2. Bask, M., & de Luna, X. (2005, August). EMU and the stability and volatility of foreign exchange: Some empirical evidence. *Chaos, Solitons & Fractals*, 25(3), 737–750. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2004.12.009>
3. BenSaïda, A., & Litimi, H. (2013, September). High level chaos in the exchange and index markets. *Chaos, Solitons & Fractals*, 54, 90–95. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2013.06.004>
4. Decena, Ma. C. B., Francisco, K. N. T., Yatco, M. M. (2019). The Dynamics of Philippine Foreign Exchange Rates (2013–2017): A Test for Chaos. In *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering* (Vol. 8, Issue 11, pp. 486–489). Blue Eyes Intelligence Engineering and Sciences Engineering and Sciences Publication — BEIESP. <https://doi.org/10.35940/ijiteek1413.0981119>
5. Demianchuk, M. and Drozdyna, A. (2021), «Bifurcation points on the trajectory of the insurance market in the context of digitalization of the economy», *Efektivna ekonomika*, [Online], vol. 1, DOI: 10.32702/2307-2105-2021.1.101

¹ Червоним виділено статистично значущі коефіцієнти кореляції при рівні $p < 0.05$

6. Frank, M., & Stengos, T. (1988, January). The stability of Canadian macroeconomic data as measured by the largest Lyapunov exponent. *Economics Letters*, 27(1), 11–14. [https://doi.org/10.1016/0165-1765\(88\)90211-x](https://doi.org/10.1016/0165-1765(88)90211-x)
7. Hansen, J. P. (2004, July). Quality Research Toolbox: CANT MISS: Conquer Any Number Task by Making Important Statistics Simple. Part 6. Tests of Statistical Significance (z Test Statistic, Rejecting the Null Hypothesis, p value), t Test, z Test for Proportions, Statistical Significance Versus Meaningful Difference. *Journal for Healthcare Quality*, 26(4), 43–53. <https://doi.org/10.1111/j.1945-1474.2004.tb00507.x>
8. Gatfaoui, H., & de Peretti, P. (2019, December 18). Testing for non-chaoticity under noisy dynamics using the largest Lyapunov exponent. *Soft Computing*, 24(12), 8617–8626. <https://doi.org/10.1007/s00500-019-04595-y>
9. Gatfaoui, H., & de Peretti, P. (2019, December 18). Testing for non-chaoticity under noisy dynamics using the largest Lyapunov exponent. *Soft Computing*, 24(12), 8617–8626. <https://doi.org/10.1007/s00500-019-04595-y>
10. Lahmiri, Salim, Uddin, Gazi Salah, Bekiros, Stelios (2017). Nonlinear dynamics of equity, currency and commodity markets in the aftermath of the global financial crisis. *Chaos, Solitons and Fractals*, 342-346. doi:101016/j.chaos201706019
11. Shintani, M., & Linton, O. (2004, May). Nonparametric neural network estimation of Lyapunov exponents and a direct test for chaos. *Journal of Econometrics*, 120(1), 1–33. [https://doi.org/10.1016/s0304-4076\(03\)00205-7](https://doi.org/10.1016/s0304-4076(03)00205-7)
12. Özkaya, A. (2022, June 25). Chaotic dynamics in Turkish foreign exchange markets. *Business & Management Studies: An International Journal*, 10(2), 787–795. <https://doi.org/10.15295/bmij.v10i2.2068>
13. Park, J. Y., Whang, Y. J. (2012, July). Random walk or chaos: A formal test on the Lyapunov exponent. *Journal of Econometrics*, 169(1), 61–74. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2012.01.012>
14. Pietrych, L., Sandubete, J. E., & Escot, L. (2021). Solving the chaos model-data paradox in the cryptocurrency market. *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul.*, 102, 105901
15. Resende, M., & Zeidan, R. M. (2008, April). Expectations and chaotic dynamics: Empirical evidence on exchange rates. *Economics Letters*, 99(1), 33–35. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2007.05.023>
16. Wang, R., Hui, X., & Zhang, X. (2014). Analysis of Multiple Structural Changes in Financial Contagion Based on the Largest Lyapunov Exponents. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2014/209470>
17. Sandubete, J.E., & Escot, L. (2020). Chaotic signals inside some tick-by-tick financial time series. *Chaos Solitons & Fractals*, 137, 109852.
18. Sandubete, J. E., Beleña, L., & García-Villalobos, J. C. (2023, January 5). Testing the Efficient Market Hypothesis and the Model-Data Paradox of Chaos on Top Currencies from the Foreign Exchange Market (FOREX). *Mathematics*. <https://doi.org/10.3390/math11020286>
19. Sandubete, J., & Escot, L. (2021). DChaos: An R Package for Chaotic Time Series Analysis. *The R Journal*, 13(1), 232. <https://doi.org/10.32614/rj-2021-036>
20. Serletis, A., & Shintani, M. (2006, March). Chaotic monetary dynamics with confidence. *Journal of Macroeconomics*, 28(1), 228–252. <https://doi.org/10.1016/j.jmacro.2005.10.017>
21. Plakandaras, V., Gupta, R., Gil-Alana, L. A., & Wohar, M. E. (2018). Are BRICS Exchange Rates Chaotic? *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3275920>
22. Соловійов В. М., Стратійчук І. О. Використання індикаторів-передвісників кризових явищ фінансового ринку на основі масштабно-залежних показників Ляпунова. *Математичні методи та моделі в економіці. Проблеми економіки № 2, 2013, с. 279–283 [In Ukrainian]*
23. Jakimowicz, A. (2020, April 16). The Role of Entropy in the Development of Economics. *Entropy*. <https://doi.org/10.3390/e22040452>

References

1. Bask, M. (1996). Dimensions and Lyapunov exponents from exchange rate series. *Chaos Solitons & Fractals*, 7, p. 2199–2214 [https://doi.org/10.1016/s0960-0779\(96\)00080-x](https://doi.org/10.1016/s0960-0779(96)00080-x)
2. Bask, M., & de Luna, X. (2005, August). EMU and the stability and volatility of foreign exchange: Some empirical evidence. *Chaos, Solitons & Fractals*, 25(3), 737–750. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2004.12.009>
3. BenSaïda, A., & Litimi, H. (2013, September). High level chaos in the exchange and index markets. *Chaos, Solitons & Fractals*, 54, 90–95. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2013.06.004>
4. Decena, Ma. C. B., Francisco, K. N. T., Yatco, M. M. (2019). The Dynamics of Philippine Foreign Exchange Rates (2013–2017): A Test for Chaos. In *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering* (Vol. 8, Issue 11, pp. 486–489). Blue Eyes Intelligence Engineering and Sciences Engineering and Sciences Publication — BEIESP. <https://doi.org/10.35940/ijiteek1413.0981119>
5. Demianchuk, M. and Drozdyna, A. (2021), «Bifurcation points on the trajectory of the insurance market in the context of digitalization of the economy», *Efektivna ekonomika*, [Online], vol. 1, DOI: 10.32702/2307-2105-2021.1.101
6. Frank, M., & Stengos, T. (1988, January). The stability of Canadian macroeconomic data as measured by the largest Lyapunov exponent. *Economics Letters*, 27(1), 11–14. [https://doi.org/10.1016/0165-1765\(88\)90211-x](https://doi.org/10.1016/0165-1765(88)90211-x)
7. Hansen, J. P. (2004, July). Quality Research Toolbox: CANT MISS: Conquer Any Number Task by Making Important Statistics Simple. Part 6. Tests of Statistical Significance (z Test Statistic, Rejecting the Null Hypothesis, p value), t Test, z Test for Proportions, Statistical Significance Versus Meaningful Difference. *Journal for Healthcare Quality*, 26(4), 43–53. <https://doi.org/10.1111/j.1945-1474.2004.tb00507.x>
8. Gatfaoui, H., & de Peretti, P. (2019, December 18). Testing for non-chaoticity under noisy dynamics using the largest Lyapunov exponent. *Soft Computing*, 24(12), 8617–8626. <https://doi.org/10.1007/s00500-019-04595-y>
9. Gatfaoui, H., & de Peretti, P. (2019, December 18). Testing for non-chaoticity under noisy dynamics using the largest Lyapunov exponent. *Soft Computing*, 24(12), 8617–8626. <https://doi.org/10.1007/s00500-019-04595-y>
10. Lahmiri, Salim, Uddin, Gazi Salah, Bekiros, Stelios (2017). Nonlinear dynamics of equity, currency and commodity markets in the aftermath of the global financial crisis. *Chaos, Solitons and Fractals*, 342-346. doi:10.1016/j.chaos201706019
11. Shintani, M., & Linton, O. (2004, May). Nonparametric neural network estimation of Lyapunov exponents and a direct test for chaos. *Journal of Econometrics*, 120(1), 1–33. [https://doi.org/10.1016/s0304-4076\(03\)00205-7](https://doi.org/10.1016/s0304-4076(03)00205-7)
12. Özkaya, A. (2022, June 25). Chaotic dynamics in Turkish foreign exchange markets. *Business & Management Studies: An International Journal*, 10(2), 787–795. <https://doi.org/10.15295/bmij.v10i2.2068>
13. Park, J. Y., Whang, Y. J. (2012, July). Random walk or chaos: A formal test on the Lyapunov exponent. *Journal of Econometrics*, 169(1), 61–74. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2012.01.012>
14. Pietrych, L., Sandubete, J. E., & Escot, L. (2021). Solving the chaos model-data paradox in the cryptocurrency market. *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul.*, 102, 105901
15. Resende, M., & Zeidan, R. M. (2008, April). Expectations and chaotic dynamics: Empirical evidence on exchange rates. *Economics Letters*, 99(1), 33–35. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2007.05.023>
16. Wang, R., Hui, X., & Zhang, X. (2014). Analysis of Multiple Structural Changes in Financial Contagion Based on the Largest Lyapunov Exponents. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2014/209470>

17. Sandubete, J. E., & Escot, L. (2020). Chaotic signals inside some tick-by-tick financial time series. *Chaos Solitons & Fractals*, 137, 109852.
18. Sandubete, J. E., Beleña, L., & García-Villalobos, J. C. (2023, January 5). Testing the Efficient Market Hypothesis and the Model-Data Paradox of Chaos on Top Currencies from the Foreign Exchange Market (FOREX). *Mathematics*. <https://doi.org/10.3390/math11020286>
19. Sandubete, J., & Escot, L. (2021). DChaos: An R Package for Chaotic Time Series Analysis. *The R Journal*, 13(1), 232. <https://doi.org/10.32614/rj-2021-036>
20. Serletis, A., & Shintani, M. (2006, March). Chaotic monetary dynamics with confidence. *Journal of Macroeconomics*, 28(1), 228–252. <https://doi.org/10.1016/j.jmacro.2005.10.017>
21. Plakandaras, V., Gupta, R., Gil-Alana, L. A., & Wohar, M. E. (2018). Are BRICS Exchange Rates Chaotic? *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3275920>
22. Soloviov V. M., Stratiichuk I. O. Vykorystannia indyikatoriv-peredvisnykiv kryzovykh yavlyshch finansovoho rynku na osnovi masshtabno-zaleznykh pokaznykiv Liapunova. *Matematychni metody ta modeli v ekonomitsi. Problemy ekonomiky* № 2, 2013, s. 279–283
23. Jakimowicz, A. (2020, April 16). The Role of Entropy in the Development of Economics. *Entropy*. <https://doi.org/10.3390/e22040452>

DOI 10.33111/vz_kneu.35.24.02.17.117.123

УДК 330.341

Корж Роман Віталійович,
кандидат економічних наук
директор БО «ФОНД ІНВЕСТИЦІЙ В МАЙБУТНЄ»
ORCID: 0000-0002-5649-9969

ЕВОЛЮЦІЯ ПІДХОДІВ ДО ВИВЧЕННЯ ІННОВАЦІЙ: ВІД КЛАСИЧНИХ ДО СУЧАСНИХ МОДЕЛЕЙ

Korzh Roman
PhD in Economics,
Director BO «FUND OF INVESTMENTS IN THE FUTURE»
ORCID: 0000-0002-5649-9969

EVOLUTION OF APPROACHES TO THE STUDY OF INNOVATIONS: FROM CLASSICAL TO MODERN MODELS

Анотація. Мета статті полягає у теоретичному обґрунтуванні інноваційних моделей у часі та концептуальному опрацюванні еволюції підходів до вивчення класичних та сучасних моделей інновацій, щоб розв'язати виклики інноваційного розвитку економічних систем на глобальних ринках. Для досягнення цілей статті застосовуються методи теоретичного аналізу, включаючи методи аналізу та синтезу; індукції та дедукції; порівняння; абстрагування; формалізації; логічний та історичний методи. У статті проаналізовано еволюцію підходів до дослідження класичних і сучасних моделей інновацій; узагальнено наукові думки й теоретичні погляди на пізнавальне значення динамічності інновацій у процесі еволюції, яка показує як система економічного розвитку розвиває інноваційні властивості кількісно та переходить на інноваційний рівень якості. Дано розуміння ефективності класичних управлінських стратегій у керуванні інноваціями у контексті технологічних та економічних процесів. Інтерпретовано схему лінійної моделі інновацій у базових інноваційних концепціях. Сформульовано, що продовження вивчення та аналіз інноваційної діяльності допоможуть практичному розвитку економіки, застосуванню знань в економічних проце-