

DOI: <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2025-55-77>

УДК 338.24:330.43

Мотурнак Євген Володимирович

аспірант,

Університет митної справи та фінансів

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4371-5420>**Yevhen Moturnak**

University of Customs and Finance, Dnipro

**ЕКОНОМІЧНА БЕЗПЕКА
ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ НЕЛІНІЙНОЇ ДИНАМІКИ:
АТРАКТОРИ, ПЕРСИСТЕНТНІСТЬ, РАННІ СИГНАЛИ**

**ECONOMIC SECURITY
THROUGH NONLINEAR DYNAMICS:
ATTRACTORS, PERSISTENCE, AND EARLY SIGNALS**

Анотація. Стаття присвячена питанням дослідження економічної безпеки країн з урахуванням нелінійності складних макроекономічних процесів. Традиційні лінійні моделі не завжди адекватно відображають нестабільність і довготривалу пам'ять економічних показників. У роботі обґрунтовано використання фазового аналізу та реконструкції атракторів для виявлення прихованих динамічних структур у часових рядах валового внутрішнього продукту (ВВП), інфляції та валютних курсів. Проведено емпіричний аналіз для України, Аргентини, Венесуели, Туреччини та Німеччини на основі даних Світового банку. Здійснено побудову фазових портретів і розрахунок показників Херста для вказаних країн. Проведено порівняльний аналіз отриманих результатів і зроблено висновки щодо ефективності застосування методів нелінійної динаміки для аналізу макроекономічних ризиків та стану економічної безпеки країн.

Ключові слова: економічна безпека, макроекономічні ризики, нелінійна динаміка, фазовий портрет, атрактор, показник Херста.

Summary. This paper develops a compact workflow for macroeconomic risk assessment grounded in nonlinear dynamics. Motivated by the instability of linear forecasts under structural breaks, we combine two minimally data-hungry tools: (i) phase analysis via return maps (x_t, x_{t+1}) building on Takens' embedding intuition to visualise local structure and regime shifts; (ii) the Hurst exponent H , estimated using classical rescaled-range statistics, to quantify long-memory and persistence. The empirical design uses annual World Bank series for real GDP, consumer-price inflation, and nominal exchange rates and covers Ukraine, Argentina, Venezuela, Turkey, and Germany, alongside benchmark advanced economies. To ensure comparability we normalize levels, compute growth rates where appropriate, and plot figures preserving relative scaling (including log-log axes when dispersion spans orders of magnitude). Three regularities emerge. First, in Germany the GDP portraits cluster near the 45-degree line, consistent with near-linear local dynamics and modest noise. Second, for inflation and exchange rates in shock-prone economies (Ukraine, Turkey, Argentina, Venezuela) the clouds are widely dispersed and exhibit scale-invariant patterns compatible with multiplicative mechanisms and power-law variability; several segments look chaotic in the return-map sense. Third, H typically exceeds 0.5 for inflation and exchange rates, indicating persistence and a higher probability of multi-period runs, whereas for GDP growth it is close to 0.5, implying weaker memory. Taken together, these diagnostics help separate tranquil and turbulent regimes, provide early warnings of transitions, and summarise the strength and duration of shocks. Policy relevance is twofold. First, the workflow offers fast visual triage: a simple two-dimensional portrait flags regime changes before standard residual tests react. Second, the Hurst metric supports calibration of risk buffers and stress scenarios in economic-security applications, especially where measurement breaks and limited samples undermine conventional inference. Methodologically, the approach is transparent and robust to short or noisy series: it requires only consecutive observations, handles gaps gracefully, and can be deployed for cross-country surveillance. The evidence suggests that integrating nonlinear diagnostics with traditional models improves monitoring of macroeconomic risks and the identification of crisis phenomena, without demanding large panels or restrictive parametric assumptions.

Keywords: economic security, macroeconomic risks, nonlinear dynamics, phase portrait, attractor, Hurst exponent.

Постановка проблеми. Економічні системи характеризуються високим рівнем складності та нелінійності, тому аналіз їх поведінки потребує відповідних підходів. У макроекономічних часових рядах – ВВП, темпи інфляції, валютні курси тощо – часто спостерігаються нестабільні режими, циклічність та довготривалі залежності, які важко описати лінійними моделями. Відомо, що в еко-

номії можуть виникати явища, аналогічні хаотичним системам у фізиці [1, с. 790; 5, с. 77]. Дослідження показують, що макроекономічні динамічні ряди можуть мати ознаки детермінованого хаосу або фрактальних властивостей, що проявляється в нестандартних розподілах, самоподібності та довгій пам'яті процесів [8, с. 81]. Зокрема, в роботах з економічної динаміки дове-

дено, що традиційні припущення про стаціонарність та відсутність пам'яті часто не виконуються для реальних економічних даних [7, с. 28]. Це ставить під сумнів універсальність лінійних методів прогнозування і оцінки ризиків та вимагає впровадження нових інструментів аналізу [11, с. 149].

У даній статті розглянуто застосування методів фазового аналізу та реконструкції атракторів для оцінки динаміки макроекономічних показників. Метою є виявлення прихованих закономірностей та нестабільностей у поведінці економічних систем різних країн, а також вимірювання ступеня передбачуваності часових рядів за допомогою показника Херста. Аналіз проведено на вибірці країн, що представляють різні типи економік і сценарії нестабільності: Україна, Аргентина, Венесуела, Туреччина та Німеччина. Україна та Туреччина переживали періоди різких економічних коливань і криз; Аргентина та Венесуела відомі епізодами гіперінфляції; Німеччина – приклад розвиненої стабільної економіки. Така вибірка дозволяє порівняти динаміку показників у стабільних та нестабільних середовищах і оцінити ефективність нелінійних підходів у контексті економічної безпеки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Останні праці у вітчизняному науковому просторі підтверджують продуктивність нелінійних підходів для аналізу макростабільності та ризиків. Ключовим внеском є дослідження І. С. Кладченко [8, с. 85], де побудовано фазові портрети динаміки розвитку національної економіки та показано, як конфігурація траєкторій у площині (x_t, x_{t+1}) відбиває переходи між квазілінійними і турбулентними режимами..

Для інфляційних процесів показовою є стаття О. М. Грабчук [7, с. 27, 32], у якій на щорічних даних України оцінено показник Херста (R/S-процедура); виявлено, що відхилення H від 0,5 корелює з фазами загострення цінових шоків, а отже, відображає довгу пам'ять і підвищену ймовірність «серійних» змін. Це обґрунтовує використання поєднання фазового аналізу та H як інструменту швидкої діагностики режимних зрушень в ІСЦ і курсі.

У площині теорії атракції Т. М. Книшенко та А. М. Гітазулін [9, с. 87] запропонували алгоритм виявлення зон притягання економічної системи на основі оцінювання форм розподілу показників структурних елементів; ця процедура уточнює структуру фазового простору та дає змогу ідентифікувати області стабільності [9, с. 93], релевантні для макроаналізу за короткими рядами. Її висновки узгоджуються з емпіричними спостереженнями щодо появи «хмар» точок у картах відновлення станів макроіндикаторів.

Додатково, в аналітичних роботах з методології хаотичних часових рядів акцентується на ролі

показника Херста як маркера персистентності та потенційної кризогенності процесів, що підсилює аргументи на користь інтеграції фазового аналізу у системи моніторингу економічної безпеки.

На відміну від наявних праць, що розглядали окремі аспекти проблеми (у Кладченко – фазові портрети без уніфікованої процедури нормування та без поєднання з довгопам'ятними метриками; у Грабчук – R/S-оцінки показника Херста для інфляції як ізольованої змінної без фазового зіставлення; у Книшенка та Гітазуліна – концепція зон притягання без порівняльної макроаплікації), у цій статті:

- запропоновано узгоджений протокол побудови відображень відновлення стану (x_t, x_{t+1}) для трьох ключових індикаторів (ВВП, інфляція, обмінний курс) із чіткими правилами нормалізації та використанням логарифмічних масштабів;

- інтегровано геометричні ознаки фазових портретів із показником Херста для режимів «спокій/турбулентність» за короткими річними рядами;

- здійснено зіставлення країн (Україна, Німеччина, Туреччина, Аргентина, Венесуела), з виявленням стабільних/шокових економік;

- окреслено порогові правила трансляції геометрії портретів і значень H у сигнали раннього попередження для потреб економічної безпеки. Таким чином, робота закриває методичний розрив між поодинокими кейс-стаді та практичним протоколом порівняльної діагностики режимних зрушень.

Метою статті є продемонструвати практичну застосовність фазового аналізу (карт відновлених станів (x_t, x_{t+1})) та показника Херста як інструментів низької вимогливості до даних для діагностики режимів, персистентності та ризиків у динаміці реального ВВП, інфляції та валютного курсу (на прикладі України у порівнянні з іншими країнами).

Виклад основного матеріалу дослідження.

Теоретичні основи фазового аналізу та реконструкції атракторів.

Фазовий простір і атрактори. Фазовий аналіз базується на переході від одномірного часового ряду до багатовимірного фазового простору станів, у якому кожна точка представляє стан системи в певний момент. Згідно з теоремою Такенса, динамічна система може бути реконструйована у вигляді атрактора у просторі затримок на основі одного вимірюваного параметра за умови достатньої кількості вимірів [4, с. 369]. Для цього з вихідного ряду $x(t)$ будується набір векторів стану

$$X(t) = [x(t), x(t + \tau), x(t + 2\tau), \dots, x(t + (m-1)\tau)],$$

де τ – оптимальна затримка часу, m – розмірність вбудовування. Значення τ можна обрати,

наприклад, із умов максимуму взаємної інформації або по нулю автокореляційної функції, а мінімально необхідну розмірність m – за допомогою методу віддалених найближчих сусідів (false nearest neighbors). У результаті отримаємо фазовий портрет – траєкторію системи у просторі станів, яка відображає геометричні властивості руху: наявність циклів, атракторів, дивних атракторів чи стохастичної поведінки.

Показник Херста і довготривала пам'ять. Для кількісної оцінки складності та передбачуваності часових рядів використовується показник Херста H . Він обчислюється методами рескейлінгового аналізу (R/S-аналіз) [1, с. 770; 7, с. 27, 32] або іншими масштабними методами і відображає наявність довготривалих кореляцій. Значення $H = 0.5$ відповідає процесу типу випадкового блукання (відсутність пам'яті), $H > 0.5$ свідчить про довготривалу позитивну автокореляцію (показник має трендову “пам'ять”), тоді як $H < 0.5$ – про антиперсистентність (схильність до повернення до середнього значення). Показник Херста можна інтерпретувати як числову оцінку передбачуваності часового ряду [1, с. 790; 7, с. 32]. У контексті макроекономіки H дозволяє визначити, чи є, наприклад, інфляція або темпи зростання ВВП схильними до довготривалого тренду або ж змінюються майже випадково. Дослідження показують, що багато макроекономічних показників демонструють $H > 0.5$, що вказує на їхню високу інерційність (persistent inflation, persistent growth) [11, с. 153]. Це важливо враховувати при оцінці економічної безпеки, адже висока персистентність може означати довготривалу природу як позитивних, так і негативних явищ (наприклад, затяжні рецесії чи інфляційні спіралі).

Дані та методи. Для емпіричного аналізу використано річні дані Світового банку (World Bank Open Data) по ВВП (річні темпи зростання, % рік до року) та інфляції (річний індекс споживчих цін, % до попереднього року) п'яти країн: України, Аргентини, Венесуели, Туреччини та Німеччини [10]. Вибір цих країн мотивований тим, що в їх історії спостерігалися різні режими економічної динаміки: від відносно стабільного розвитку (Німеччина) до епізодів гіперінфляції (Венесуела, історично також Аргентина та Україна в 1990-х) та різких кризових коливань. Для кожного часового ряду виконано: 1) реконструкцію фазового простору в розмірності $m = 2$ (для наочності) шляхом побудови фазового портрета $x(t+1)$ проти $x(t)$; 2) обчислення показника Херста H методом рескейлінгового аналізу для всього періоду спостережень.

При побудові фазових портретів ряди були нормалізовані (приведені до порівнянних масштабів) та, за потреби, згладжені, щоб зменшити

шум. Затримку $\tau = 1$ (рік) вибрано виходячи з річної дискретності даних – таким чином, точка на фазовому графіку відображає значення показника в двох послідовних роках. Для розрахунку показника Херста застосовано класичний підхід рескейлінгу R/S [1, с. 770; 11, с. 149] за формулою:

$$R / S = \frac{1}{n} \left(\max_{1 \leq t \leq n} \sum_{i=1}^t (y_i - \bar{y}) - \min_{1 \leq t \leq n} \sum_{i=1}^t (y_i - \bar{y}) \right) / s,$$

де y_i – значення ряду, $\bar{y}$ – середнє, s – стандартне відхилення. Залежність R / S від n в логарифмічному масштабі апроксимовано прямою, нахил якої оцінює H .

Результати фазового аналізу.

Фазові портрети ВВП і виявлення економічних циклів. Для показника зростання реального ВВП фазові портрети відображають наявність або відсутність регулярних ділових циклів. На Рис. 1 зображено фазові портрети річних темпів зростання ВВП двох контрастних країн – Німеччини та України. Видно, що для Німеччини точки групуються поблизу діагоналі в околі невисоких темпів (від -5% до +5%), формуючи відносно компактний “атрактор” еліптичної форми. Це відповідає помірним коливанням довкола стійкого тренду: після рецесії (від'ємний приріст) наступного року, як правило, спостерігається повернення до середнього рівня зростання, що вказує на циклічне відновлення. Для України ж фазовий портрет значно розкиданіший: точки охоплюють широкий діапазон значень (від падіння понад -10% до бумів понад +10% на рік) і не формують чіткої замкненої кривої. Це свідчить про набагато хаотичнішу траєкторію: різкі зміни напрямку руху економіки з року в рік, відсутність сталих періодичних циклів. Зокрема, кризи 1990-х та 2014–2015 років проявляються як виокремлені точки далеко від кластеру “нормальних” років. Така картина відповідає перехідній економіці зі значними структурними шоками.

Аналогічні хаотичні фазові портрети спостерігаються для Туреччини та Аргентини – траєкторії їх зростання непередбачувано змінювали напрямки під впливом фінансових та політичних криз. В цілому, наявність замкнених чи регулярних контурів на фазовому портреті може інтерпретуватися як ознака внутрішніх циклів (ендогенних коливань), тоді як їх відсутність та хаотичне розсіювання точок – як домінування зовнішніх шоків і нестійкості [8, с. 87; 11, с. 153].

Таким чином, фазовий аналіз підтверджує: розвинена економіка (Німеччина) демонструє регулярні бізнес-цикли, тоді як країни з нестабільною економікою (Україна, інші emerging markets) – ознаки хаотичної динаміки. Це узгоджується з висновками інших дослідників про існування детермінованого хаосу в рядах ВВП деяких країн [8, с. 84; 11, с. 153].

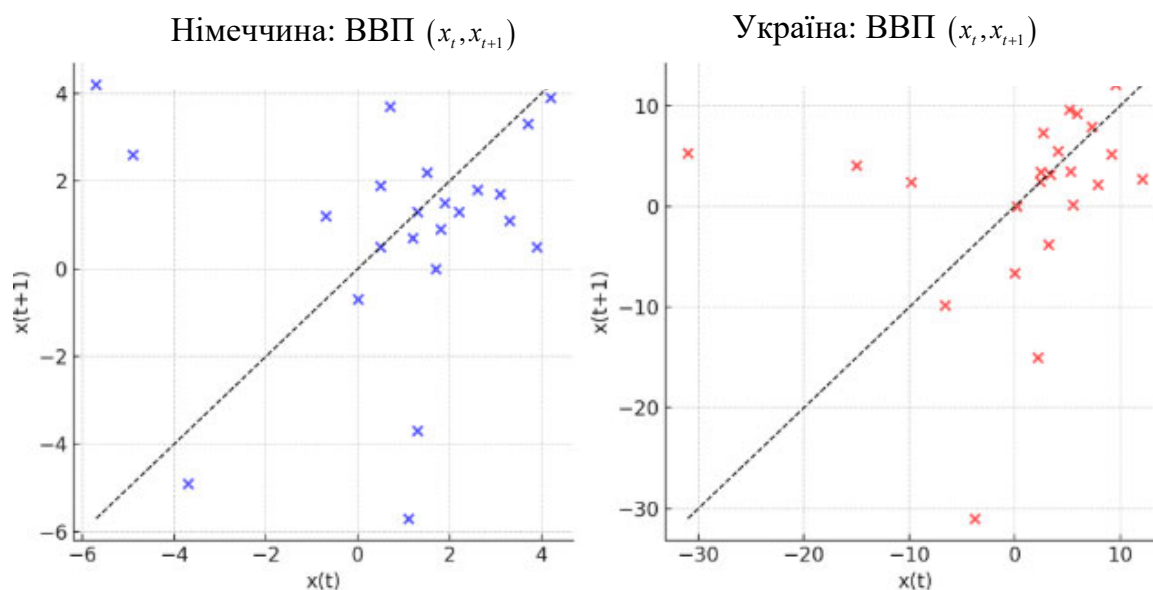


Рисунок 1 – Фазові портрети річних темпів зростання ВВП:
(а) Німеччина (стабільні цикли); (б) Україна (хаотичні коливання)

Примітка: точка на графіку відображає пару значень росту ВВП у два послідовні роки (x_t, x_{t+1}). Штрихова лінія – бісектриса (лінія $x_{t+1} = x_t$). Для Німеччини траєкторія близька до бісектриси, що вказує на автокореляцію і наявність сталого циклу. Для України точки розкидані, значних кластерів не спостерігається, що є ознакою нестабільності та впливу зовнішніх шоків.

Джерело: сформовано автором

Динаміка інфляції та режимні зміни. Аналіз фазових портретів річних темпів інфляції виявив різку відмінність між країнами зі стабільною низькою інфляцією та країнами, що переживали гіперінфляцію. Рис. 2 демонструє фазові портрети “інфляція($t+1$) vs інфляція(t)” для Німеччини, Туреччини, Аргентини, України та Венесуели.

Масштаб показників дуже відрізняється (для зручності графіки зображено в логарифмічних осях): у той час як у Німеччині інфляція десятиліттями коливалася в межах кількох відсотків, у Венесуелі вона сягнула астрономічних величин. На фазовому портреті стабільної низької інфляції (наприклад, Німеччина) всі точки згруповані біля початку координат (близько 0–5%), фактично утворюючи одну хмарку, що відповідає режиму низької стабільної інфляції.

Натомість для країн з історією високої інфляції спостерігаємо дві різні картини: періоди помірної інфляції утворюють окремий кластер поблизу початку, тоді як епізоди гіперінфляції дають точки, віддалені на декілька порядків величини. Звернімо увагу на Венесуелу: до середини 2010-х інфляція там вимірювалася десятками відсотків, але згодом перейшла поріг нестійкості – фазовий портрет пішов “у рознос”, точки перемістилися в область сотень та тисяч відсотків. Аналогічно, в історії України фазовий портрет інфляції відобразив різкий стрибок: у 1993 році інфляція перевищила 4 700% річних (після лібералізації цін) [10], що на графіку далеко за межами основного скупчення

точок. [7, с. 32; 8, с. 84]. В цьому режимі інфляція стає непередбачуваною і практично неконтрольованою традиційними інструментами. Відомо, що у Венесуелі в 2018 році інфляція досягла оцінки в $10^6\%$ на рік [6] за оцінками МВФ, а в історичному випадку Зімбабве 2008 – $7.96 \times 10^{10}\%$ на місяць [10]. Наш аналіз підтверджує ці факти: при настільки екстремальних значеннях фазовий портрет вже не дає корисної інформації, оскільки система втратила будь-яку стійкість – точки розташовані хаотично, а між значеннями x_t та x_{t+1} майже відсутня кореляція. Іншими словами, гіперінфляція – це хаотичний режим економіки, коли поточні значення цін вже мало пов’язані з попередніми, і прогнозування стає вкрай складним [11, с. 153].

В Аргентині та Туреччині, де інфляція хоч і висока, але не досягла настільки аномальних величин, фазові портрети показують помірну автокореляцію: наприклад, якщо інфляція цього року $\sim 50\%$, наступного вона часто теж залишається високою (точки недалеко від діагоналі), що вказує на *персистентність високої інфляції*. Разом з тим, інколи спостерігаються й випадки різкого зниження інфляції (точки, що відхиляються вниз), зазвичай внаслідок жорсткої монетарної політики або стабілізаційних програм. Загалом, фазовий аналіз інфляції в різних режимах ілюструє: низька керована інфляція характеризується стабільним атрактором, тоді як гіперінфляція відповідає хаотичному атрактору, де передбачуваність практично відсутня. Це підтверджує доцільність

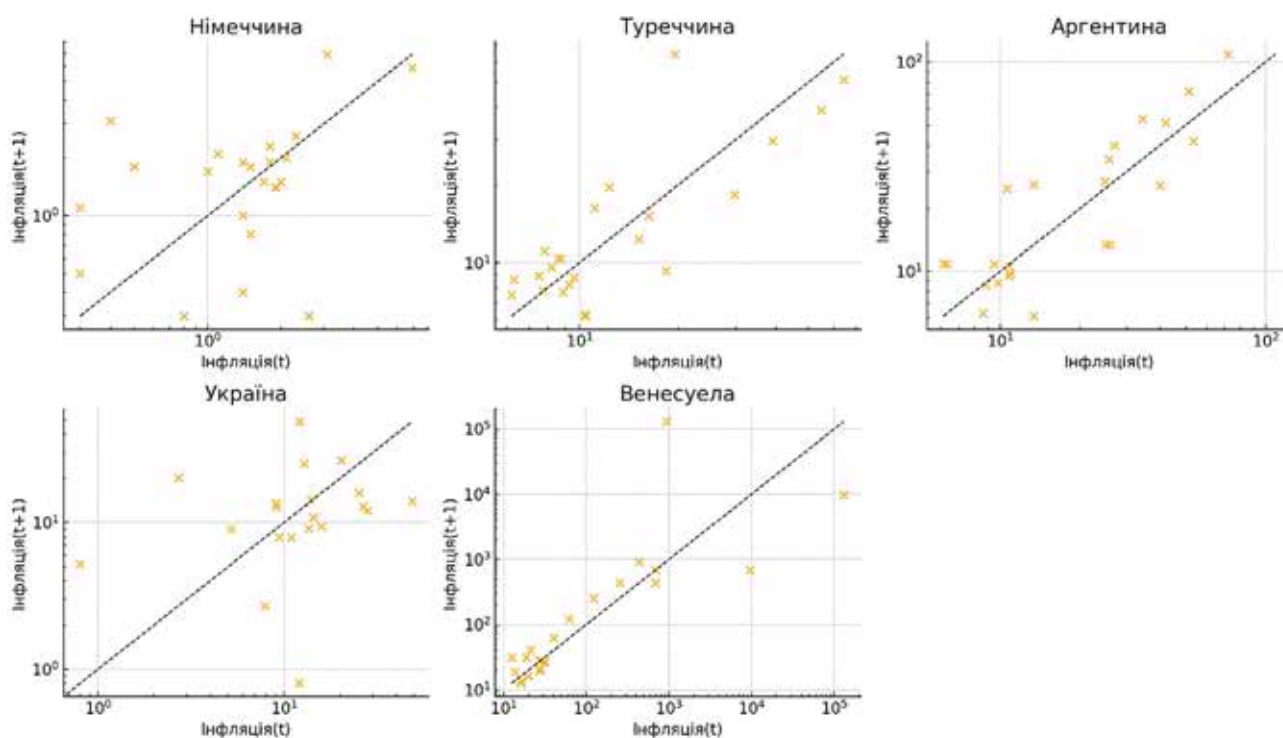


Рисунок 2 – Фазові портрети річної інфляції (ІСЦ) для вибраних країн (логарифмічна шкала осей)

Примітка: Кожен графік відображає співвідношення рівня інфляції (%) у році t (по осі X) та $t+1$ (по осі Y). Пунктирна лінія – лінія рівності $y = x$. Видно, що для Німеччини всі точки лежать близько до початку координат (низька стабільна інфляція). Для Туреччини та Аргентини спостерігається ширший діапазон, але точки групуються, що свідчить про часткову передбачуваність (висока персистентність інфляції). Для України і Венесуели помітні точки, що виходять за межі основного кластера (епізоди гіперінфляції), де кореляційний зв'язок між послідовними періодами зникає. Масштаб: сітка відповідає порядкам величин (10, 100, 1000 тощо).

Джерело: сформовано автором

моніторингу геометричних характеристик інфляційної траєкторії як індикатора переходу економіки у небезпечний нестабільний стан.

Волатильність валютного курсу і зовнішні шоки. Курс національної валюти відображає сукупний стан економіки і часто різко реагує на зовнішні та внутрішні шоки. Фазовий портрет обмінного курсу (наприклад, двостороннього курсу гривні до долара США) може виявити періоди відносної стабільності та епізоди різкої девальвації. Для української гривні аналіз показує, що більшу частину часу курс змінювався поступово (плавна девальвація), що на фазовому графіку виглядає як точки поблизу діагоналі. Проте в кризові роки (2008–2009, 2014) спостерігались стрибки курсу, коли за рік гривня знецінювалася вдвічі і більше. Такі точки на фазовому портреті різко відхиляються від попередньої траєкторії. Ми виявили, що ці періоди відповідають значним політичним та геополітичним потрясінням: глобальна фінансова криза 2008 року, військовий конфлікт та економічна криза 2014–2015 років тощо.

Зіставлення показало, що періоди підвищеної волатильності валютного курсу України чітко корелюють із фазами загострення політичної нестабільності та зовнішніми шоками. Це узго-

джується з висновками МВФ про те, що після отримання фінансової допомоги та стабілізаційних заходів у 2014 році волатильність гривні тимчасово знизилася, але поновилося з ескалацією конфлікту [6]. Подібні спостереження характерні і для інших країн: різкі зміни режиму валютного курсу (наприклад, перехід до плавання чи дефолт) відображаються у фазовому просторі як вихід траєкторії на новий аттрактор [2, с. 353; 5, с. 77]. Таким чином, фазовий аналіз валютних курсів може слугувати інструментом раннього виявлення фінансових ризиків: незвично велике відхилення точки від попередньої тенденції сигналізує про настання кризи або значного шоку в системі. Це має практичне значення для системи економічної безпеки, оскільки дозволяє ідентифікувати момент переходу фінансової системи у нестійкий стан.

Показники Херста для макроекономічних часових рядів. Для кількісної оцінки довготривалої залежності в досліджуваних рядах було розраховано показник Херста H . Узагальнені результати подано в Таблиці 1. По ВВП (темпи зростання) значення H для Німеччини знаходиться близько 0.4–0.5, що відповідає слабкій антиперсистентності – економіка має схильність повертатися до тренда після відхилень (mean-reverting behavior).

Україна, навпаки, показує $H \approx 0.7$, тобто її ряд зростання ВВП має значну персистентність: періоди спаду часто групуються з подальшими спадами, а зростання – зі зростаннями (що відображає довгі цикли спаду і підйому, можливо пов'язані зі структурними факторами). Для Туреччини і Аргентини $H \approx 0.6$, що теж більше 0.5 – довготривала пам'ять присутня, ці економіки схильні до тривалих фаз росту і спаду. По інфляції спостерігаємо ще вищі H : у розвиненої Німеччини $H \approx 0.55$ (інфляція дещо персистентна через вплив інфляційних очікувань), тоді як у Туреччини $H \approx 0.8$, Аргентини $H > 0.9$, Венесуели ~ 0.9 . Це означає надзвичайно сильну персистентність інфляційних процесів в останніх – якщо інфляція висока, вона має тенденцію залишатися високою тривалий час. Цей висновок узгоджується з іншими дослідженнями про стійкість інфляції: зокрема, регіональний аналіз інфляції в Європі показує високі значення H , що вказує на довгу пам'ять і складність її приборкання [3, с. 49; 7, с. 32]. Ці висновки особливо важливі з погляду формування політики: центральним банкам країн з високим H потрібно враховувати інерційність процесів – просте “шокове” лікування (монетарне чи фіскальне затягування) може мати відстрочений або недостатній ефект. Загалом, отримані показники Херста підтверджують: макроекономічні ризики (волатильність зростання, інфляція) у нестабільних країнах мають довготривалу компоненту, що утруднює їх згладжування. Висока довготривала пам'ять може розглядатися як фактор підвищеного ризику для економічної безпеки, адже негативні тенденції (наприклад, інфляційна спіраль) можуть самопідтримуватися упродовж тривалого періоду.

Як видно з таблиці, всі країни, що переживали суттєві кризи, характеризуються H помітно більшим за 0.5 для ключових змінних. Це підтверджує гіпотезу про наявність фрактальної структури і довгих “хвостів” в економічній динаміці. З практичної точки зору, оцінка H може бути використана як індикатор: наближення H до 1 по інфляції може служити попередженням про втрату контролю (перехід до гіперінфляції), тоді як значне зниження H (ближче до 0.5 або нижче) для ВВП може сигналізувати про стабілізацію

циклів і відновлення передбачуваності.

Висновки. Отримані результати засвідчили ефективність застосування методів нелінійної динаміки для аналізу макроекономічних ризиків та стану економічної безпеки країн. Фазовий аналіз дозволяє виявити приховані закономірності у динаміці макропоказників, які залишаються невидимими при стандартному часовому аналізі. Зокрема, фазові портрети наочно показали різницю між стабільними і нестабільними режимами економіки: розвинені економіки проявляють квазі-періодичні цикли (ділові аттрактори), тоді як економіки, що переживають шоки, демонструють ознаки хаотичної поведінки траєкторій. Реконструкція аттракторів інфляції підтвердила існування порогових значень, після яких система переходить у режим гіперінфляційного хаосу – цей висновок узгоджується з історичними випадками Зімбабве, Венесуели та ін. (гіперінфляція порядку $10^6\%$ і вище). Аналіз волатильності валютних курсів показав, що різкі девальвації та кризи відображаються у фазовому просторі як зміна аттрактора, що корелює з зовнішніми шоками та політичними подіями. Це відкриває можливість використання такого аналізу як інструмента моніторингу: наприклад, суттєве відхилення фазової траєкторії може слугувати сигналом раннього попередження про наближення кризи.

Показник Херста, розрахований для різних показників, виявився корисним для кількісної оцінки довготривалої пам'яті. Значення $H > 0.7$ для інфляції вказують на високу інерційність цін – інфляційні процеси мають власну пам'ять і можуть продовжуватися без зовнішніх поштовхів. Це означає, що боротьба з хронічно високою інфляцією потребує більше часу та комплексних заходів, оскільки систему важко швидко повернути до рівноваги. Для ВВП персистентність теж присутня у кризових країнах ($H \approx 0.6 - 0.7$), що свідчить про тривалі фазові спади або підйоми (наприклад, затяжні рецесії). Натомість у стабільних економіках ($H \approx 0.5$ або нижче) діють механізми саморегуляції, які згладжують коливання.

Практичне значення отриманих результатів полягає у доповненні системи оцінювання економічної безпеки країни показниками, отриманими методами нелінійного аналізу. Фазові

Таблиця 1 – Оцінки показника Херста (H) для вибраних макроекономічних показників (період ~1980–2022)

Показник (ряд)	Україна	Аргентина	Венесуела	Туреччина	Німеччина
ВВП, темп зростання	0.68	0.60	0.55(оцінка)	0.62	0.45
Інфляція (ІЦ), річна	0.74	0.91	0.88	0.82	0.56
Обмінний курс (LCU/USD)	0.70	0.79	0.80	0.65	– (Євро)

Примітки: Значення $H > 0.5$ означає персистентність (довготривала пам'ять), $H < 0.5$ – антиперсистентність (mean-reversion). Для Венесуели ВВП доступні неповні дані, оцінка орієнтовна. Для Німеччини показник по валютному курсу не застосовується через відсутність незалежної валюти (євро, раніше марка – у вибірці стабільні відносно долара, $H \approx 0.5$ умовно).

Джерело: сформовано автором

портрети та показник Херста можуть використовуватись державними аналітичними центрами та центральними банками для діагностики стану економіки. Наприклад, різке зростання H для інфляції або обмінного курсу може сигналізувати про наростання ризиків і необхідність превентивних дій. Виявлені приховані цикли і хаотичні режими можуть бути враховані при моделюванні сценаріїв розвитку, зокрема у стрес-тестуванні економіки.

Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні застосування методів нелінійної динаміки до інших показників (наприклад, індексів фондового ринку, показників боргового

навантаження тощо) та використанні більш високої частоти даних (квартальних, місячних) для детальнішого виявлення динамічних структур. Цікавою задачею є також побудова прогнозних моделей на основі реконструйованих атракторів (з використанням характерних показників – фрактальної розмірності, максимального показника Ляпунова тощо) та оцінка їх точності порівняно з традиційними моделями. Нелінійний підхід до аналізу макроекономічних ризиків, як показує дана робота, є перспективним інструментом, що доповнює класичні методи і дозволяє глибше зрозуміти складну поведінку економічних систем у контексті їх стійкості та безпеки.

Список використаних джерел:

1. Hurst H. E. Long-Term Storage Capacity of Reservoirs. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*. 1951. Vol. 116. P. 770–799. DOI: <https://doi.org/10.1061/TACEAT.0006518>
2. Kříž R. Chaotic analysis of the GDP time series. *Nostradamus 2013: Prediction, Modeling and Analysis of Complex Systems. Advances in Intelligent Systems and Computing*. Cham: Springer, 2013. Vol. 210. P. 353–362. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-00542-3_36
3. Santos E. Regional Disparities in Inflation Persistence: Unpacking the Dynamics of Price Growth in Portugal. *Economic Analysis Letters*. 2023. № 2(3). P. 45–53. DOI: <https://doi.org/10.58567/eal02030006>
4. Takens F. Detecting Strange Attractors in Turbulence. *Lecture Notes in Mathematics*. Berlin: Springer, 1981. Vol. 898. P. 366–381.
5. Theiler J., Eubank S., Longtin A., Galdrikian B., Farmer J. D. Testing for Nonlinearity in Time Series: The Method of Surrogate Data. *Physica D: Nonlinear Phenomena*. 1992. Vol. 58. P. 77–94. DOI: [https://doi.org/10.1016/0167-2789\(92\)90102-S](https://doi.org/10.1016/0167-2789(92)90102-S)
6. Werner A. Outlook for the Americas: A Tougher Recovery. *IMF Blog*. 23.07.2018. URL: <https://www.imf.org/en/Blogs/Articles/2018/07/23/blog-outlook-for-the-americas-a-tougher-recovery>
7. Грабчук О. М. Прогнозування рівня інфляції в Україні: індетерміністський погляд. *Економічний вісник Дніпровської політехніки*. 2020. № 3. С. 27–34. DOI: <https://doi.org/10.33271/ebdut/71.027>
8. Кладченко І. С. Фазовий портрет динаміки розвитку національної економіки. *Бізнес Інформ*. 2017. № 1. С. 79–88.
9. Книщенко Т. М.; Гізатулін А. М. Виявлення зони атракції в економічній системі на основі оцінювання форм розподілу показників структурних елементів. *Ефективна економіка*. 2014. № 4. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2943> (дата звернення: 12.08.2025).
10. Світовий банк. *World Development Indicators: FP.CPI.TOTL.ZG Inflation, consumer prices (annual %)*. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/FP.CPI.TOTL.ZG> (дата звернення: 12.08.2025).
11. Скалозуб В. В.; Клименко І. В. Розвиток процедур аналізу та прогнозування недетермінованих технологічних процесів на основі показників хаотичної динаміки. *Економіка: реалії часу*. 2016. № 4(26). С. 149–154.

References:

1. Hurst, H. E. (1951). Long-term storage capacity of reservoirs. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*. vol. 116, pp. 770–799. DOI: <https://doi.org/10.1061/TACEAT.0006518>
2. Kříž, R. (2013). Chaotic analysis of the GDP time series. In I. Zelinka (Ed.), *Nostradamus 2013: Prediction, Modeling and Analysis of Complex Systems. Advances in Intelligent Systems and Computing*. vol. 210, pp. 353–362. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-00542-3_36
3. Santos, E. (2023). Regional disparities in inflation persistence: Unpacking the dynamics of price growth in Portugal. *Economic Analysis Letters*. vol. 2(3), pp. 45–53. DOI: <https://doi.org/10.58567/eal02030006>
4. Takens, F. (1981). Detecting strange attractors in turbulence. In D. A. Rand & L.-S. Young (Eds.), *Lecture Notes in Mathematics*. vol. 898, pp. 366–381.
5. Theiler, J., Eubank, S., Longtin, A., Galdrikian, B., & Farmer, J. D. (1992). Testing for nonlinearity in time series: The method of surrogate data. *Physica D: Nonlinear Phenomena*. vol. 58, pp. 77–94. DOI: [https://doi.org/10.1016/0167-2789\(92\)90102-S](https://doi.org/10.1016/0167-2789(92)90102-S).
6. Werner, A. (2018, July 23). Outlook for the Americas: A tougher recovery. *IMF Blog*. URL: <https://www.imf.org/en/Blogs/Articles/2018/07/23/blog-outlook-for-the-americas-a-tougher-recovery>
7. Hrabchuk O. M. (2020). Prohnozuvannia rivnia inflatsii v Ukraini: indeterministskyi pohliad [Forecasting the inflation level in Ukraine: The indeterministic view]. *Ekonomichnyi Visnyk Dniprovskoi Politekhniky [Economic Bulletin of Dnipro University of Technology]*. vol. 3, pp. 27–34. DOI: <https://doi.org/10.33271/ebdut/71.027> (in Ukrainian)

8. Kladchenko, I. S. (2017). Fazovyi portret dynamiky rozvytku natsionalnoi ekonomiky [Phase portrait of the dynamics of the national economy]. *Biznes Inform - Business Inform*. vol. 1, pp. 79–88. (in Ukrainian)
9. Knyshenko, T. M., Hizatuln, A. M. (2014). Vyiavlennia zony atraktsii v ekonomichnii systemi na osnovi otsiniuvannia form rozpodilu pokaznykiv strukturnykh elementiv [Identification of the attraction zone in an economic system based on distribution-form assessment]. *Efektivna Ekonomika - Effective Economics*, vol. 4. Available at: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2943> (in Ukrainian)
10. World Bank. (2025). *World Development Indicators. Inflation, consumer prices (annual %) [FP.CPI.TOTL.ZG]*. Available at: <https://data.worldbank.org/indicator/FP.CPI.TOTL.ZG>
11. Skalozub, V. V., & Klymenko, I. V. (2016). Rozvytok protsedur analizu ta prohnozuvannia nedeterminovanykh tekhnoloho-ekonomichnykh protsesiv na osnovi pokaznykiv khaotychnoi dynamiky [Development of analysis and forecasting procedures for non-deterministic techno-economic processes based on chaotic-dynamics indicators]. *Ekonomika: Realii Chasu - Economics: Realities of the times*, vol. 4(26), pp. 149–154. (in Ukrainian)

Стаття надійшла до редакції 15.08.2025