

УДК 338.24:519.216
<https://doi.org/10.30838/EP.200.297-306>

Козенкова В.Д.
кандидат економічних наук
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Kozenkova Vladyslava
PhD in Economic Sc.
Dnipro State Agrarian and Economic University
<https://orcid.org/0000-0003-4159-4610>

Вишнеvsька М.К.
кандидат технічних наук
Український державний університет науки і технологій
Vyshnevska Mariia
PhD in Technical Sc.
Ukrainian State University of Science and Technologies
<https://orcid.org/0000-0002-3580-0564>

Козенков Д.Є.
кандидат економічних наук
Український державний університет науки і технологій
Kozenkov Dmytro
PhD in Economic Sc.
Ukrainian State University of Science and Technologies
<https://orcid.org/0000-0001-5432-0155>

ТЕОРІЯ ХАОСУ ТА ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ В АНТИКРИЗОВОМУ МЕНЕДЖМЕНТІ

Стаття присвячена дослідженню потенціалу теорії хаосу як інструменту для аналізу та управління економічними кризами. Розкрито основні концепти теорії хаосу: нелінійність, чутливість до початкових умов, фрактали, аттрактори. Сучасні економічні системи характеризуються складністю та непередбачуваністю, через що класичні лінійні методи часто є неефективними. Теорія хаосу пропонує новий підхід до розуміння цих процесів, враховуючи нелінійні взаємодії та можливі стрибкоподібні переходи у поведінці систем. Особливу увагу приділено порівнянню традиційного підходу з підходом на основі теорії хаосу, що підкреслює важливість адаптивності, гнучкості та здатності до швидкої реакції на зміни. Акцентується необхідність розробки ранніх попереджувальних сигналів та інтеграції інсайтів теорії хаосу з існуючими економічними моделями для покращення стратегічного планування і прийняття рішень у кризових ситуаціях.

Ключові слова: теорія хаосу, антикризове управління, фрактали, аттрактори, нелінійність, чутливість до початкових умов.

CHAOS THEORY AND ITS USE IN CRISIS MANAGEMENT

This scientific article focuses on a comprehensive examination of the conceptual and practical potential of applying chaos theory within the domain of crisis management in economic systems. The relevance of this topic is underscored by the growing complexity, interconnectedness, and stochastic nature of contemporary economic processes, which render traditional linear models insufficient for accurately predicting their dynamics. Chaos theory, as a methodological framework, offers the capability to analyze nonlinear dynamic systems that are highly sensitive to initial conditions, thereby proving especially valuable for studying crisis phenomena.

The research delves deeply into the foundational principles of chaos theory, encompassing nonlinearity, fractal structures, attractors, bifurcations, and the effect of sensitivity to initial conditions. These concepts enable not only the identification of patterns in complex systems but also the anticipation of sudden shifts between stable and chaotic states. Significant emphasis is placed on the role of bifurcation points, which represent pivotal moments of systemic transformation where alternative developmental trajectories may emerge.

An independent section is dedicated to the analysis of fractal models within the context of economic processes. Fractal structures facilitate the recognition of self-similarity across multiple scales, enhancing comprehension of latent interdependencies and improving the precision of forecasting fluctuations in financial markets. Methodological strategies

for incorporating fractal analysis into crisis management practices are suggested.

Additionally, the article explores the potential of chaos theory in formulating adaptive management strategies under conditions of uncertainty. The necessity of an interdisciplinary approach integrating insights from mathematics, economics, sociology, and information technology is highlighted. The authors stress the importance of developing specialized tools, such as software for simulating nonlinear processes, algorithms for processing large datasets, and techniques for pinpointing critical junctures in system dynamics.

The concluding segment of the article outlines conclusions regarding the application of chaos theory in crisis management. The authors assert that this approach holds considerable promise for bolstering decision-making efficacy during crises. Concurrently, the need for further research to broaden the theoretical foundation and refine practical applications is underscored. Special consideration must be given to educating professionals skilled in leveraging chaos theory methodologies in real-world settings.

Keywords: chaos theory, crisis management, fractal structure, attractors, bifurcations, sensitivity to initial conditions.

JEL Classification: B41, D81, E37.

Постановка проблеми. Сучасний світ характеризується зростанням непередбачуваності та складності. Економічні кризи, політична нестабільність, технологічні революції та природні катаклізми стають частиною повсякденного життя організацій. У таких умовах класичні методи прогнозування та управління часто виявляються неефективними. Теорія хаосу, яка вивчає нелінійні системи та їхню чутливість до початкових умов, пропонує новий підхід до розуміння та управління кризовими ситуаціями.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Застосування теорії хаосу в антикризовому управлінні є складною та міждисциплінарною областю, і багато аспектів все ще перебувають на стадії дослідження та розробки. Проте, розуміння принципів нелінійної динаміки та чутливості до початкових умов може надати цінні інсайти для кращого розуміння та управління економічними кризами.

Наукові публікації у цьому напрямку стосуються виявлення нелінійності та складності в економічних часових рядах, що є важливим для розуміння потенційних криз, присвячені прогнозуванню криз на основі аналізу критичних явищ та нелінійних моделей, передбаченню фінансових криз на основі використання нелінійності та складності систем, застосуванні ідей з фізики складних систем до економіки та фінансів, включаючи аналіз криз, обґрунтуванню концепції фракталів та складних систем до фінансових ринків та економіки [1-5]. Аналіз наукових публікацій показує, що використання теорії хаосу надає наукову основу для розуміння того, як малі події можуть призвести до великих наслідків, а також як організації можуть ефективно протистояти хаотичним процесам.

Водночас спостерігається недостатнє розуміння того, як найкраще використовувати знання про хаотичну динаміку для формування ефективних антикризових заходів, які б не призводили до посилення нестабільності. Існує потреба у розробці шляхів інтеграції інсайтів теорії хаосу з існуючими економічними моделями та інструментами для забезпечення більш глибокого та всебічного розуміння економічних криз. Необхідно чітко продемонструвати переваги використання теорії хаосу порівняно з традиційними підходами.

Мета статті – дослідження потенціалу теорії хаосу як аналітичного інструменту для поглибленого розуміння динаміки економічних систем, що перебувають у кризовому стані, та визначення можливостей її

застосування для розробки більш ефективних підходів до антикризового управління.

Виклад основних результатів дослідження. Теорія хаосу являє собою міждисциплінарний науковий напрям, що фокусується на дослідженні складних систем, поведінка яких характеризується нелінійністю, непередбачуваністю та надзвичайною чутливістю до початкових умов. На відміну від лінійних систем, де малі зміни вхідних параметрів призводять до пропорційних змін у вихідних, хаотичні системи демонструють якісно іншу динаміку, в якій незначні початкові відмінності можуть з часом призвести до кардинально різних траєкторій розвитку. Розвиток теорії хаосу пройшов кілька важливих етапів, від окремих математичних спостережень до формування цілісної наукової парадигми.

Одним з перших, хто зіткнувся з концепцією хаотичної поведінки, був Анрі Пуанкаре. Він ввів поняття біфуркації для опису якісних змін у поведінці динамічної системи при зміні її параметрів. Вивчення біфуркацій є важливим для розуміння того, як системи можуть переходити від стабільної до хаотичної поведінки. Роботи А. Пуанкаре заклали фундамент для подальших досліджень у галузі нелінійної динаміки та теорії хаосу [6]. О. Ляпунов заклав основи теорії стійкості динамічних систем, ввівши поняття, важливі для кількісної оцінки хаосу, зокрема показники Ляпунова, що характеризують швидкість розходження близьких траєкторій [7]. Ж. Адамар досліджував хаотичний рух на поверхнях від'ємної кривини, демонструючи складну та непередбачувану поведінку простих детермінованих систем [8].

Період 1960-1970-ті років минулого століття ознаменувався ключовими відкриттями, які сформували сучасне розуміння хаосу. Е. Лоренц відкрив чутливість до початкових умов («ефект метелика»). Його робота про детерміновані неперіодичні потоки стала основоположною для теорії хаосу [9]. Б. Мандельброт ввів поняття фракталів, геометричних об'єктів із самоподібною структурою, які виявилися важливими для опису складності та хаотичної динаміки в природі та інших системах [10]. М. Фейгенбаум відкрив універсальні константи, що описують каскад біфуркацій подвоєння періоду, який часто призводить до хаосу в нелінійних системах [11].

З 1980-х років теорія хаосу активно розвивалася, розширювався її математичний апарат та зростала

кількість застосувань у різних наукових дисциплінах. Були розроблені та вдосконалені методи для кількісної оцінки хаотичної поведінки, такі як розрахунок показників Ляпунова, визначення фрактальної розмірності та методи реконструкції фазового простору. Сьогодні теорія хаосу залишається активною галуззю досліджень, продовжуючи розширювати наше розуміння складних систем та їхньої поведінки [12].

У основі теорії хаосу лежить концепція нелінійності. У лінійних системах зв'язок між причиною та наслідком є прямим і пропорційним. У нелінійних системах цей простий зв'язок порушується. Взаємодії між компонентами системи є складними та взаємозалежними, що призводить до непропорційних і часто неінтуїтивних наслідків. Малі зміни в одній частині системи можуть мати величезний вплив на іншу, а зворотні зв'язки можуть посилювати або послаблювати ці ефекти нелінійним чином.

Одним із найбільш вражаючих наслідків нелінійної динаміки є принципова непередбачуваність довгострокової поведінки хаотичних систем. Хоча детерміновані рівняння описують їх еволюцію, їхня чутливість до початкових умов робить точне прогнозування на тривалий період практично неможливим. Це не означає, що поведінка є випадковою; радше, вона визначається

чіткими законами, але складність взаємодій і неможливість абсолютно точного вимірювання початкових умов призводять до експоненційного зростання похибок прогнозування з часом.

Концепція чутливості до початкових умов, або ефект метелика є фундаментальною для розуміння хаосу. Вона підкреслює, що навіть мізерно малі відмінності у початкових умовах можуть з часом призвести до якісно різних результатів у хаотичній системі. Оскільки в реальному світі неможливо досягти абсолютно точних вимірювань, будь-яка спроба спрогнозувати довгострокову поведінку такої системи неминуче зіткнеться зі значними похибками, що експоненційно зростають.

Теорія хаосу спирається на потужний математичний апарат.

Нелінійні диференціальні рівняння та ітераційні відображення використовуються для моделювання динаміки складних систем. Нелінійні члени в рівняннях є ключовою особливістю, що породжує складну поведінку. Прикладами є рівняння Лоренца – набір тричленних диференціальних рівнянь, який описує динаміку системи, яка відображає характерні особливості хаотичної динаміки. Рівняння Лоренца мають наступний вигляд:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \sigma(y - x), \\ \frac{dy}{dt} = x(\rho - z) - y, \\ \frac{dz}{dt} = xy - \beta z, \end{cases} \quad (1)$$

де:

x, y, z – координати точки в тривимірному просторі, які описують стан системи;
 σ, ρ, β – параметри системи, які визначають її поведінку.

Рівняння Лоренца виявилось однією з перших моделей, які показали, що непередбачувані системи можуть мати складні, хаотичні поведінки, навіть коли вони відповідають простим законам. Одним із найбільш відомих наслідків рівнянь Лоренца є ефект метелика, який ґрунтується на тому, що навіть дуже малі зміни початкових умов можуть призводити до значно різних результатів у хаотичній системі. Це призвело до розуміння того, що деякі процеси, незважаючи на своє детерміноване походження, практично неможливо передбачити. Рівняння Лоренца можуть бути застосовано для опису різноманітних фізичних, хімічних, біологічних та соціальних систем, де зміни ведуть до складних, непередбачуваних результатів. У деяких моделях економічної динаміки використовуються аналогічні принципи для аналізу флуктуацій у фінансових ринках.

Для візуалізації поведінки динамічних систем використовується концепція фазового простору, де кожна вісь відповідає одній змінній системи. Траєкторія системи в цьому просторі відображає її еволюцію. У хаотичних системах траєкторії часто наближаються до

складних геометричних об'єктів, відомих як атрактори. Ці атрактори є обмеженими областями у фазовому просторі, до яких з часом прямують траєкторії, але ніколи не повторюють себе точно.

При певних значеннях параметрів ($\sigma=10, \rho=28, \beta=38$) траєкторії системи притягуються до складної геометричної структури, яка називається атрактором Лоренца. Цей атрактор є фракталом і має хаотичну структуру. Атрактор Лоренца часто зображують у тривимірному просторі (x, y, z) . Він нагадує дві спіралі, які символізують два стабільні стани системи, але траєкторія ніколи не повторюється точно, що є ознакою хаотичної поведінки.

Формально можна описати через показник Ляпунова (λ), також відомий як експонента Ляпунова. Цей показник є ключовим показником у теорії хаосу і використовується для виявлення хаотичної поведінки, оцінки стійкості системи та прогнозування її поведінки у часі.

Показник Ляпунова визначається як:

$$\lambda = \frac{1}{t} \ln \frac{|\delta x(t)|}{|\delta x(0)|} \quad (2)$$

де:

$\delta x(0)$ – початкова відстань між двома близькими точками у фазовому просторі;
 $\delta x(t)$ – відстань між цими точками після часу t , \ln – натуральний логарифм.

Якщо $\lambda > 0$, система є хаотичною, оскільки траєкторії розходяться експоненціально з часом. Якщо $\lambda < 0$, система є стійкою, оскільки траєкторії зближаються. Якщо $\lambda = 0$, система є нейтральною.

У багатовимірних системах може бути кілька показників Ляпунова. Для системи з n змінними існують n показників Ляпунова. Найбільший показник Ляпунова визначає загальну поведінку системи.

Показники Ляпунова допомагають аналізувати стабільність ринків і прогнозувати можливі хаотичні зміни. Для класичної системи Лоренца з параметрами $\sigma=10$, $\rho=28$ і $\beta=8/3$ показники Ляпунова приблизно дорівнюють: $\lambda_1 \approx 0,906$ (додатний, хаотична поведінка); $\lambda_2 \approx 0$ (нейтральна поведінка); $\lambda_3 \approx -14,572$ (від'ємний,

стабільність).

Обчислення показників Ляпунова є складним завданням, особливо для нелінійних систем. Часто використовуються чисельні методи, такі як метод Бенеттіна, що включає ітераційну процедуру для обчислення показників Ляпунова шляхом слідкування за еволюцією векторів у фазовому просторі; метод варіаційних рівнянь, який використовується для лінійних апроксимацій нелінійних систем; чисельне моделювання для аналізу складних систем.

Існують декілька популярних програм і інструментів, які використовуються для обчислення показників Ляпунова. Їх короткий опис, переваги та недоліки наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Програми та інструменти для обчислення показників Ляпунова

Назва	Опис	Переваги	Недоліки
Chaoscope	Програма для візуалізації та аналізу хаотичних систем, використовує метод Вольфа для обчислення найбільшого показника Ляпунова.	Простий інтерфейс, візуалізація траєкторій та атракторів.	Обмежена функціональність для складних систем, умовна безкоштовність.
Dynamical Systems Toolbox (DSTool)	Некомерційний інструмент для аналізу динамічних систем, дозволяє обчислювати показники Ляпунова, будувати басейни притягання та візуалізувати траєкторії.	Простий інтерфейс, підтримка різних типів систем (дискретні, неперервні).	Обмежена документація.
GNU Octave	Відкрите програмне забезпечення, схоже на MATLAB, для обчислення показників Ляпунова.	Безкоштовне, сумісне з MATLAB, можна використовувати методи Бенеттіна і Вольфа.	Повільніше за MATLAB, менше документації.
Julia (Differential Equations.jl)	Мова програмування для наукових обчислень, включає бібліотеку для розв'язування диференціальних рівнянь і обчислення показників Ляпунова.	Висока продуктивність, безкоштовне і відкрите, активно розвивається.	Потрібні знання мови Julia, менша кількість готових прикладів у порівнянні з MATLAB чи Python.
Maple	Комерційне програмне забезпечення для математичних обчислень, підтримує методи Бенеттіна та варіаційні рівняння.	Висока точність обчислень, вбудовані функції для чисельних обчислень.	Вимагає знань програмування.
Mathematica	Комерційне програмне забезпечення для наукових обчислень з інструментами для аналізу динамічних систем.	Висока точність, підтримка чисельних обчислень, методів Бенеттіна та Вольфа.	Вимагає знань програмування.
MATLAB	Поширена програма для чисельних обчислень і моделювання, має пакети для обчислення показників Ляпунова.	Велика кількість інструментів, гнучкість, можливість створення власних скриптів, велика бібліотека функцій.	Комерційний продукт, вимагає знань програмування.
Python	Мова програмування, що може використовуватись для наукових обчислень з бібліотеками для обчислення показників Ляпунова.	Безкоштовна, відкритий код, велика спільнота, бібліотеки NumPy/SciPy, TISEAN, PyDynamical.	Потрібні базові знання програмування.
R (chaos і fractal packages)	Мова програмування для статистичних обчислень, включає бібліотеки для аналізу хаотичних систем.	Безкоштовна, відкритий код, наявність статистичних інструментів.	Повільніша за інші програми, вимагає знань програмування.
TISEAN	Відкрите програмне забезпечення для аналізу хаотичних систем з інструментами для обчислення показників Ляпунова.	Безкоштовне, відкритий код, спеціалізація для аналізу хаотичних систем.	Складне для новачків, необхідні знання командного рядка.
XPPAUT	Безкоштовне програмне забезпечення для аналізу динамічних систем, включає інструменти для чисельного інтегрування та обчислення показників Ляпунова.	Простий інтерфейс, підтримка великої кількості типів систем.	Обмежена документація.

Джерело: сформовано авторами.

Фрактали представляють собою математичні об'єкти, які використовуються для моделювання складних систем, що характеризуються нерегулярністю, хаотичністю та нелінійністю. Це означає, що частини фракталу виглядають так само, як ціла система, незалежно від масштабу. Фрактали не можуть бути описані за допомогою класичної евклідової геометрії (прямі, кола, многокутники). Вони мають нерегулярну форму, яка зберігається при збільшенні масштабу. Це означає, що будь-яка частина фракталу виглядає так само, як ціла система, незалежно від масштабу. Вони є несполучними, тобто не можуть бути визначені як множина точок, але мають відкриті простори між точками. Фрактали мають міру, яка не залежить від масштабу та велику кількість деталей на різних масштабах, що робить їх досить складними для аналізу.

$$D = \frac{\log(N(\epsilon))}{\log(1/\epsilon)} \quad (3)$$

де $N(\epsilon)$ – кількість частин фрактала, потрібних для покриття його з точністю ϵ , а ϵ – розмір елемента покриття.

Фрактальна розмірність може бути дробовим числом, що відрізняє фрактали від класичних геометричних об'єктів, які мають ціле значення розмірності.

Фрактали є дуже потужним інструментом, який дозволяє зрозуміти та прогнозувати поведінку складних систем, включаючи економічні ринки, соціальні мережі, логістичні процеси та інші динамічні процеси.

У фрактальному управлінні організація розглядається як система, яка складається з підсистем (підрозділів), кожна з яких має подібну структуру до загальної системи. Цей підхід дозволяє забезпечити гнучкість, адаптивність та ефективну комунікацію між різними рівнями організації.

Фрактальні моделі дозволяють враховувати нелінійність та хаотичність у даних, що важливо для прогнозування складних систем. Наприклад, фрактальна розмірність може бути використана для аналізу флуктуацій цін на акції або валютних курсів, які не видно за допомогою класичних методів. Це дозволяє приймати більш обґрунтовані рішення щодо інвестицій та управління ризиками.

Фрактали можуть допомогти у формулюванні стратегічних планів через моделювання довгострокової поведінки системи. Це особливо корисно для прогнозування результатів складних проєктів, де малі зміни на початкових етапах можуть призвести до значних наслідків у майбутньому.

Фрактали дозволяють оптимізувати мережі постачання та логістичні системи, які часто мають складну структуру, вони допомагають виявити «вузькі місця» у логістиці та оптимізувати маршрути, зменшити час доставки та знизити витрати.

Фрактали можуть бути застосовані для планування та контролю проєктів, особливо у великих та складних системах, що дозволяє краще координувати роботу між командами та виявляти потенційні проблеми, забезпечувати управління та моніторинг проєкту.

Соціальні мережі часто мають фрактальну структуру, де кожен вузол (особа або група) взаємодіє з іншими вузлами. Фрактальний аналіз допомагає виявити

Існують геометричні фрактали, які створюються за допомогою повторюваних геометричних перетворень (наприклад, масштабування, обертання), такі як, наприклад, фрактал Лебега-Кантора, Сніжинка Коха, або трикутник Серпінського; алгебраїчні фрактали, які створюються за допомогою ітерацій алгебраїчних формул, як наприклад, множина Мандельброта, або множина Жулія; стохастичні фрактали, які створюються за допомогою випадкових процесів, як наприклад, фрактальний ландшафт, або Броунівський рух.

Фрактальна розмірність є ключовою характеристикою фракталів. Вона показує, як площа або об'єм фрактала зростає зі збільшенням масштабу.

Формула для обчислення фрактальної розмірності є такою:

ключові вузли та закономірності у взаємодіях. Це корисно для управління командами, маркетингу та стратегічного планування.

Економічні дані часто мають фрактальну природу через циклічність та нелінійність. Фрактальний аналіз допомагає виявити закономірності у даних та прогнозувати майбутні тренди, передбачати сезонні коливання попиту та оптимізувати запаси товарів.

Атрактор – це поняття з теорії динамічних систем, яке описує стан або множину станів, до яких система прямує з часом. Атрактори є важливими для розуміння поведінки складних динамічних систем, таких як економічні та соціальні системи. Вони допомагають визначити, як система буде поводитися у довгостроковій перспективі, незалежно від початкових умов.

Атрактор являє собою множину точок у фазовому просторі динамічної системи, до яких змищуються (або «притягуються») траєкторії системи під час її еволюції. Іншими словами, атрактор визначає поведінку системи у довгостроковій перспективі. Вони є ключовим поняттям у теорії хаосу та аналізі складних систем. До основних характеристик атракторів відносять притягання, як траєкторію системи, що починаються поблизу атрактора, залишаються близькими до нього і не віддаляються; базис притягання – як множина початкових умов, які призводять до того, що траєкторія системи буде притягуватися до даного атрактора; стійкість для забезпечення близькості траєкторій що почалися поблизу, навіть при невеликих збуреннях.

Логістична функція є однією з найпростіших моделей динамічних систем, яка використовується для опису експоненціального зростання та експоненціального занепаду. Взагалі, атрактори поділяються на кілька типів залежно від характеру поведінки системи. Якщо система прямує до конкретного стану, який називається точкою рівноваги, то цей стан є стабільним, і всі траєкторії системи з часом наближаються до цієї точки. Це так звана стабільна точка рівноваги, або точка атрактор, наприклад, як стратегічні цілі організації. Циклічний, або атрактор лімітного циклу характеризує

лімітний цикл, тобто замкнуту траєкторію, до якої приносяться всі сусідні траєкторії. Це означає, що стан системи з часом починає коливатися навколо певної траєкторії. Такий стан математично описує, наприклад, диференціальне рівняння Ван дер Поля. Хаотичний атрактор є складною, нерегулярною траєкторією, яка не повторюється точно, але залишається обмеженою в певній області фазового простору. Такий атрактор характеризує хаотичну поведінку системи. Його класичними прикладами є атрактор Лоренца, або атрактор Ресслера. Якщо система виконує коливання з декількох незалежних частот, що не є кратними одна одній, то вона має квазіперіодичний атрактор.

З позицій теорії хаосу, кризи розглядаються не як ізольовані події з чіткими лінійними причинами та наслідками, а як складні, нелінійні динамічні процеси. Їх виникнення та розвиток визначаються взаємодією багатьох факторів, де навіть незначні початкові збурення можуть бути підсилені позитивними зворотними зв'язками та призвести до непропорційно великих наслідків. Математично, чутливість до початкових умов у кризових процесах може бути змодельована за допомогою систем диференціальних або різницевих рівнянь, що мають позитивні показники Ляпунова. Це означає, що навіть якщо дві схожі економічні ситуації мають незначні відмінності у початкових параметрах (наприклад, рівень довіри інвесторів, незначні зміни в регуляторній політиці), їхній подальший розвиток може кардинально відрізнятись, одна з них може призвести до глибокої кризи, а інша – ні.

Через властиву хаотичним системам чутливість до початкових умов, точне прогнозування часової траєкторії розвитку кризи є принципово обмеженим. Неможливо з абсолютною точністю передбачити конкретний момент часу, інтенсивність та тривалість пікових значень кризових явищ. Проте, теорія хаосу не означає повної непередбачуваності. Вона дозволяє виявляти певні статистичні закономірності, характерні для складних систем, такі як фрактальні властивості часових рядів (наприклад, волатильність фінансових ринків може демонструвати самоподібність на різних часових масштабах). Розуміння концепції атракторів допомагає визначити межі поведінки системи та ймовірні області її перебування під час кризи, навіть якщо точна траєкторія залишається невідомою.

У практичному антикризовому управлінні це означає необхідність відмови від спроб створення єдиного точного прогнозу та перехід до розробки сценарного планування. Сценарії повинні враховувати різні можливі шляхи розвитку кризи, виходячи з розуміння ключових факторів нестабільності та потенційних точок біфуркації, де система може різко змінити свою поведінку.

Кризи майже ніколи не є результатом дії одного ізольованого фактора. Вони виникають та розвиваються внаслідок складної мережі взаємодій між різними елементами системи. В економіці це можуть бути зв'язки між різними секторами, між внутрішніми та зовнішніми ринками. В організації це можуть бути взаємодії між різними підрозділами, працівниками та зовнішнім

середовищем (постачальники, клієнти, конкуренти).

Зворотні зв'язки відіграють ключову роль у динаміці криз. Позитивні зворотні зв'язки підсилюють початкові збурення, призводячи до ескалації кризових явищ (наприклад, паніка на ринку, що призводить до подальшого падіння цін). Негативні зворотні зв'язки можуть стримувати кризові процеси та сприяти поверненню системи до стабільного стану (наприклад, державне втручання у фінансову систему для стабілізації курсів валют).

Аналіз кризових ситуацій з позицій теорії хаосу вимагає побудови та дослідження мережевих моделей, що відображають ці складні взаємозв'язки та зворотні зв'язки. Ігнорування цих взаємодій та спроба аналізувати кризу як сукупність незалежних подій може призвести до неефективних антикризових заходів. Традиційні підходи до антикризового управління історично базувалися на лінійному мисленні та причинно-наслідкових зв'язках. Вони часто передбачали ідентифікацію чітких причин кризи та розробку прямих заходів для їх усунення. Акцент робився на прогнозуванні майбутніх криз на основі аналізу минулого досвіду та розробці детальних планів реагування.

Одним з ключових елементів традиційного підходу є планування, яке передбачає розробку заздалегідь визначених процедур та алгоритмів дій для різних сценаріїв криз. Ці плани часто є жорсткими та ієрархічними, з чітким розподілом відповідальності та централізованим прийняттям рішень. Прогнозування відігравало важливу роль, використовуючи кількісні методи, такі як статистичний аналіз часових рядів та економетричні моделі, які часто базуються на припущенні про лінійність та стаціонарність економічних процесів. Традиційні підходи також характеризуються прагненням до стабільності та передбачуваності. Управління часто спрямоване на мінімізацію відхилень від запланованих показників та відновлення попереднього стану після кризи. Контроль є ключовою функцією, що передбачає моніторинг виконання планів та вжиття коригувальних заходів у разі відхилень.

Однак, в умовах високої невизначеності, складності та нелінійності сучасного світу, традиційні підходи стикаються зі значними обмеженнями. Нелінійність кризових явищ означає, що малі причини можуть мати непропорційно великі наслідки, а лінійні моделі не здатні адекватно відобразити ці складні взаємодії. Чутливість до початкових умов робить точне довгострокове прогнозування практично неможливим, оскільки незначні, здавалося б, випадкові події можуть кардинально змінити траєкторію розвитку кризи. Жорсткі та централізовані плани реагування можуть виявитись неефективними у швидко мінливих кризових ситуаціях, де потрібна гнучкість та швидка адаптація. Традиційні прогнози, що базуються на лінійних моделях та минулому досвіді, часто не здатні передбачити виникнення «чорних лебедів» – несподіваних та масштабних подій, які мають значні наслідки. Прагнення до відновлення попереднього стану може бути нереалістичним, оскільки кризи часто призводять до фундаментальних змін у системі.

Таким чином, традиційні підходи, хоча й є корисними в певних стабільних умовах, виявляються недостатніми для ефективного антикризового управління в сучасному турбулентному світі, що вимагає нових парадигм та інструментів. Саме тому теорія хаосу, що виникла на перетині математики, фізики та інших природничих наук, пропонує новий погляд на розуміння та управління складними, нелінійними системами, до яких належать і кризові ситуації. Замість лінійного мислення, теорія хаосу зосереджується на вивченні динаміки систем, що характеризуються нелінійністю, чутливістю до початкових умов та самоорганізацією. Теорія хаосу не пропонує точних прогнозів у довгостроковій перспективі, але надає інструменти для розуміння загальних закономірностей, можливих сценаріїв розвитку та принципів ефективного управління в умовах невизначеності. Концепція атракторів дозволяє визначити межі поведінки системи та ймовірні області її перебування, навіть якщо точна траєкторія є непередбачуваною. Вивчення фрактальних властивостей кризових явищ може допомогти виявити самоподібні патерни на різних часових масштабах та краще зрозуміти їхню структуру.

Застосування теорії хаосу в антикризовому управлінні передбачає зміщення фокусу з жорсткого контролю та детального планування на розвиток адаптивності, гнучкості та здатності до швидкого реагування на несподівані зміни. Вона підкреслює важливість виявлення ранніх ознак кризи (слабких сигналів), моніторингу ключових параметрів системи та розробки сценарних планів, що враховують різні можливі траєкторії розвитку подій.

Таким чином, теорія хаосу пропонує нову парадигму антикризового управління, яка краще відповідає складності та невизначеності сучасного світу, надаючи цінні інсайти та інструменти для підвищення стійкості та ефективності реагування на кризові явища. У таблиці 2 наведено характеристику основних відмінностей традиційного антикризового управління та антикризового управління з позицій теорії хаосу.

Теорія хаосу – це унікальний інструмент для аналізу та прогнозування різких змін у стані системи. У контексті антикризового управління цей підхід особливо корисний для виявлення точок біфуркації, коли невеликі збурення можуть призвести до значних і часто непередбачуваних наслідків.

Багато кризових ситуацій у бізнесі або організації починаються з незначних подій, які поступово накопичуються і призводять до різких змін у стані системи. Традиційні методи аналізу часто не враховують можливість таких стрибкоподібних переходів. Теорія хаосу дозволяє визначити моменти, коли система може перейти у новий стан через незначні збурення. Це допомагає вчасно виявити потенційні загрози і запобігти кризовим ситуаціям. Так, наприклад, за її допомогою можна визначити поріг заборгованості, за якого компанія може швидко втратити платоспроможність; або

критичну кількість негативних відгуків, які можуть призвести до масового відтоку клієнтів підприємства; або навіть змодельовати залежність між ціною продукту, якістю та рівнем конкуренції для визначення моменту, коли попит може різко впасти.

У кризових ситуаціях важливо приймати оптимальні рішення, які враховують можливість різких змін у стані системи. Традиційні методи часто базуються на поступових змінах і не враховують критичні точки. Теорія хаосу дозволяє враховувати можливість різких змін і приймати рішення, які мінімізують ризики, як, наприклад, формування стратегії рефінансування боргу з урахуванням точок біфуркації, або прийняття рішень щодо розв'язання конфліктів у команді на основі моделювання залежності між рівнем конфліктів і продуктивністю.

У антикризовому управлінні важливо мати план дій, який буде працювати у різних сценаріях. Теорія хаосу допомагає оцінити ефективність різних сценаріїв та вибрати оптимальний. За допомогою теорії хаосу можна аналізувати, які параметри найбільше впливають на стан системи, і вибирати стратегії, які зменшують ризики. Оптимізація антикризового планування дозволяє організації бути готовою до різних сценаріїв. Це зменшує вплив кризи на бізнес і збільшує його стійкість.

Стійкість організації полягає у її здатності протистояти зовнішнім та внутрішнім збуренням. Теорія хаосу дозволяє розробляти стратегії, які зменшують вплив таких збурень. Вона дозволяє ідентифікувати ключові параметри, які впливають на стійкість системи, і розробляти заходи для їх регулювання. Розробка стратегій стійкості дозволяє організації бути більш гнучкою та адаптивною до змін. Це зменшує ризик виникнення криз і полегшує їх наслідки.

Сучасні організації є складними системами, де багато факторів взаємодіють між собою. Теорія хаосу дозволяє аналізувати такі системи і прогнозувати їх поведінку. Теорія хаосу дозволяє моделювати взаємодію багатьох параметрів системи і аналізувати, як вони впливають на її стабільність. Так, наприклад, у логістичному управлінні теорія хаосу може допомогти виявити, які фактори (наприклад, затримки доставки чи зміна вартості палива) найбільше впливають на ефективність ланцюга поставок.

Аналіз комплексних систем дозволяє організації краще зрозуміти свої слабкі сторони та ризики. Це полегшує процес прийняття рішень у складних ситуаціях. У багатьох сферах (особливо в промисловості та фінансах) важливо забезпечити максимальний рівень безпеки. Теорія хаосу дозволяє ідентифікувати ризики та розробляти заходи для їх зменшення. Теорія хаосу дозволяє моделювати можливі сценарії криз і розробляти стратегії їх уникнення. Загалом, підвищення рівня безпеки дозволяє організації уникати кризових ситуацій. Це збільшує довіру інвесторів, клієнтів та партнерів до організації.

Таблиця 2

Основні відмінності між традиційним антикризовим управлінням та антикризовим управлінням на основі теорії хаосу

Показники	Традиційне управління	Управління з позицій теорії хаосу	Пояснення
Уявлення про систему	Розглядає систему як лінійну, передбачувану та контрольовану.	Розглядає систему як нелінійну, потенційно непередбачувану та складну.	Традиційне управління виходить з того, що зміни входних параметрів призводять до пропорційних змін вихідних, і майбутнє можна точно спрогнозувати. Управління на основі теорії хаосу визнає складність взаємодій, чутливість до малих змін та обмеженість довгострокового прогнозування.
Підхід до прогнозування	Базується на лінійних моделях та екстраполяції минулих тенденцій.	Визнає обмеженість довгострокового прогнозування та зосереджується на розумінні траєкторій розвитку.	Традиційне управління прагне до точних прогнозів, що може викликати труднощі у складних системах. Управління на основі теорії хаосу наголошує на аналізі сценаріїв та адаптивності до непередбачуваних змін.
Підхід до ризику	Прагне до мінімізації ризиків через прогнозування та контроль.	Розглядає ризик як невід'ємну частину складної системи та робить акцент на стійкості та адаптивності.	Традиційне управління фокусується на запобіганні кризам. Управління на основі теорії хаосу визнає, що кризи можуть бути неминучими, і зосереджується на здатності системи швидко відновлюватися та адаптуватися до змін.
Підхід до змін	Прагне до стабільності та передбачуваності, зміни розглядаються як порушення.	Розглядає зміни як невід'ємну частину динаміки системи та робить акцент на гнучкості та адаптації.	Традиційне управління намагається мінімізувати зміни та підтримувати status quo. Управління на основі теорії хаосу сприймає зміни як можливість для розвитку та інновацій.
Підхід до контролю	Прагне до централізованого контролю та жорсткої ієрархії.	Заохочує децентралізацію, самоорганізацію та розподілений контроль.	Традиційне управління вірить у можливість повного контролю зверху вниз. Управління на основі теорії хаосу робить акцент на створенні умов для самоорганізації та адаптивного реагування на локальному рівні.
Підхід до прийняття рішень	Базується на раціональному аналізі, ієрархічному прийнятті рішень та чітких правилах.	Приймає рішення децентралізовано, заохочує експериментування та адаптивність на різних рівнях.	Традиційне управління віддає перевагу централізованому прийняттю рішень для забезпечення контролю. Управління на основі теорії хаосу визнає, що в складних системах розподілене прийняття рішень може призвести до більш гнучких та інноваційних рішень.
Підхід до комунікації	Передача інформації зверху вниз, чіткі канали комунікації.	Заохочує відкриту, горизонтальну комунікацію та обмін інформацією на різних рівнях.	Традиційне управління часто обмежує інформаційні потоки для підтримки контролю. Управління на основі теорії хаосу вважає, що в умовах складності швидкий та відкритий обмін інформацією сприяє кращій адаптації та реагуванню.
Ставлення до невизначеності	Прагне до мінімізації невизначеності та створення стабільних умов.	Визнає неминучість невизначеності та робить акцент на гнучкості та здатності діяти в умовах невизначеності.	Традиційне управління розглядає невизначеність як загрозу, яку потрібно усунути. Управління на основі теорії хаосу розглядає її як природну властивість складних систем і навчається діяти ефективно в таких умовах.
Ставлення до зворотного зв'язку	Часто ігнорує складні та нелінійні петлі зворотного зв'язку або намагається їх спростити.	Наголошує на важливості розуміння складних петель зворотного зв'язку та їхнього впливу на динаміку системи.	Управління на основі теорії хаосу приділяє значну увагу тому, як наслідки дій можуть нелінійно впливати на систему в майбутньому, створюючи складні та неочікувані ефекти.
Акцент в управлінні	На ефективність, передбачуваність та досягнення чітко визначених цілей.	На адаптивність, стійкість, навчання та еволюцію в умовах невизначеності.	Традиційне управління зосереджено на досягненні планових показників. Управління на основі теорії хаосу робить акцент на здатності системи виживати та розвиватися в непередбачуваному середовищі, навіть якщо це означає відхилення від початкових планів.

Джерело: сформовано авторами.

Висновки. Узагальнюючи результати проведеного аналізу, можна дійти висновку, що теорія хаосу являє собою потужний міждисциплінарний інструмент для дослідження складних систем, динаміка яких характеризується нелінійністю, непередбачуваністю та високою чутливістю до початкових умов. На відміну від лінійних систем, де зміни вихідних параметрів є пропорційними змінам вхідних, хаотичні системи демонструють якісно іншу поведінку, при якій навіть незначні початкові відмінності можуть призводити до значних розбіжностей у траєкторіях розвитку.

Розуміння принципів теорії хаосу дозволяє поглибити аналіз та розширити можливості прогнозування поведінки складних систем у різноманітних галузях. Фрактальні моделі дають змогу враховувати самоподібність структур на різних рівнях масштабування, що є важливим для адекватного відображення характеристик багатьох економічних та соціальних явищ. Аналіз

атракторів сприяє визначенню меж поведінки системи та можливих сценаріїв її еволюції, навіть в умовах непередбачуваності.

Із напрямів подальших досліджень у цьому напрямі можна визначити розробку надійних ранніх попереджувальних сигналів на основі хаотичних індикаторів; поглиблення розуміння використання хаотичної динаміки для формування ефективних антикризових заходів, які б не призводили до посилення нестабільності; інтеграцію інсайтів теорії хаосу з існуючими економічними моделями та інструментами для забезпечення більш глибокого та всебічного розуміння економічних криз; трансформація складних теоретичних знань та математичних методів теорії хаосу на практично корисні рекомендації для осіб, які приймають рішення в умовах кризи; вивчення можливостей теорії хаосу для прогнозування та управління кризовими явищами в економіці.

Список використаних джерел:

1. Brock, W.A., Hsieh, D.A., & LeBaron, B. (1991). *Nonlinear dynamics, chaos, and instability: Statistical theory and economic evidence*. Cambridge, Mass. and London: MIT press. 328 p.
2. Takens, F. (1981). Detecting strange attractors in turbulence. In: Rand, D., Young, L.S. (eds) *Dynamical Systems and Turbulence*, Warwick 1980. *Lecture Notes in Mathematics*, Vol. 898. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: <https://doi.org/10.1007/BFb0091924>.
3. Barnett, W.A., & Serletis, A. (2000). The theory of nonlinear dynamics and its applications in economics and finance. *Journal of Economic Surveys*, No. 14(1). Pp. 1-84.
4. Peters, E.E. (1996). *Chaos and Order in the Capital Market: A New View of Cycles, Prices, and Market Volatility*. 2nd Edition, a Wiley Finance Edition. 288 p.
5. Omame-Adjepong, Maurice and Asampana Asosega, Killian and Osei-Assibey, Kwame, (2024). Chaos in financial markets: Research insights, measures, and influences. DOI: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4804045>.
6. Poincaré, H. (1892). *Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste* (Vol. 1). Gauthier-Villars et fils. URL: <https://henripoincarepapers.univ-lorraine.fr/chp/hp-pdf/hp1892mna.pdf>.
7. Lyapunov, A.M. (1992). The general problem of the stability of motion. *International Journal of Control*, No. 55(3). Pp. 531-534. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207179208934253>.
8. Hadamard, J. (1898). Les surfaces à courbures opposées et leurs lignes géodésiques. *Journal de Mathématiques Pures et Appliquées*, No. 4(1). Pp. 27-73. URL: https://www.numdam.org/item/JMPA_1898_5_4__27_0.pdf.
9. Lorenz, E.N. (1963). Deterministic nonperiodic flow. *Journal of the Atmospheric Sciences*, No. 20(2). Pp. 130-141. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1963\)020<0130:DNF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1963)020<0130:DNF>2.0.CO;2).
10. Mandelbrot, B.B. (1975). *Les objets fractals: forme, hasard et dimension*. Flammarion. URL: <https://archive.org/details/lesobjetsfractal0000mand/>.
11. Feigenbaum, M.J. (1978). Quantitative universality for a class of nonlinear transformations. *Journal of Statistical Physics*, No. 19(1). Pp. 25-52. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01020332>.
12. Gleick, J. (1987). *Chaos: Making a new science*. Viking. URL: <https://opencourses.ionio.gr/modules/document/file.php/DAVA275/James%20Gleick%20-%20Chaos.%20Making%20a%20new%20science.pdf>.

References:

1. Brock, W.A., Hsieh, D.A., & LeBaron, B. (1991). *Nonlinear dynamics, chaos, and instability: Statistical theory and economic evidence*. Cambridge, Mass. and London: MIT press. 328 p. [in English].
2. Takens, F. (1981). Detecting strange attractors in turbulence. In: Rand, D., Young, L.S. (eds) *Dynamical Systems and Turbulence*, Warwick 1980. *Lecture Notes in Mathematics*, Vol. 898. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: <https://doi.org/10.1007/BFb0091924>. [in English].
3. Barnett, W.A., & Serletis, A. (2000). The theory of nonlinear dynamics and its applications in economics and finance. *Journal of Economic Surveys*, No. 14(1). Pp. 1-84. [in English].
4. Peters, E.E. (1996). *Chaos and Order in the Capital Market: A New View of Cycles, Prices, and Market Volatility*. 2nd Edition, a Wiley Finance Edition. 288 p. [in English].
5. Omame-Adjepong, Maurice and Asampana Asosega, Killian and Osei-Assibey, Kwame, (2024). Chaos in financial markets: Research insights, measures, and influences. DOI: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4804045>. [in

English].

6. Poincaré, H. (1892). Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste (Vol. 1). Gauthier-Villars et fils. Retrieved from: <https://henripoincarepapers.univ-lorraine.fr/chp/hp-pdf/hp1892mna.pdf>. [in French].

7. Lyapunov, A.M. (1992). The general problem of the stability of motion. International Journal of Control, No. 55(3). Pp. 531-534. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207179208934253>. [in English].

8. Hadamard, J. (1898). Les surfaces à courbures opposées et leurs lignes géodésiques. Journal de Mathématiques Pures et Appliquées, No. 4(1). Pp. 27-73. Retrieved from: https://www.numdam.org/item/JMPA_1898_5_4__27_0.pdf. [in French].

9. Lorenz, E.N. (1963). Deterministic nonperiodic flow. Journal of the Atmospheric Sciences, No. 20(2). Pp. 130-141. [in English].

10. Mandelbrot, B.B. (1975). Les objets fractals: forme, hasard et dimension. Flammarion. Retrieved from: <https://archive.org/details/lesobjetsfractal0000mand/>. [in French].

11. Feigenbaum, M.J. (1978). Quantitative universality for a class of nonlinear transformations. Journal of Statistical Physics, No. 19(1). Pp. 25-52. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01020332>. [in English].

12. Gleick, J. (1987). Chaos: Making a new science. Viking. Retrieved from: <https://opencourses.ionio.gr/modules/document/file.php/DAVA275/James%20Gleick%20-%20Chaos.%20Making%20a%20new%20science.pdf>. [in English].