

Р. А. Павлов,

к. е. н., доцент, доцент кафедри економіки, підприємництва та управління підприємствами,
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7629-2730>

Т. С. Павлова,

д. філос. н., професор, професор кафедри філософії,

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7178-3573>

Т. В. Гринько,

д. е. н., професор, декан факультету економіки,

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7882-4523>

DOI: 10.32702/2306-6814.2023.18.26

ОБГРУНТУВАННЯ МОДЕЛЕЙ СТОХАСТИЧНОГО ХАОСУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНВЕСТИЦІЙНИХ СТРАТЕГІЙ НА МІЖНАРОДНИХ ФОНДОВИХ РИНКАХ

R. Pavlov,

PhD in Economics, Associate Professor,

Associate Professor of the Department of Economics, Entrepreneurship
and Enterprise Management, Oles Honchar Dnipro National University

T. Pavlova,

Doctor of Sciences in Philosophy, Professor,

Professor of the Department of Philosophy, Oles Honchar Dnipro National University

T. Grynko,

Doctor of Economic Sciences, Professor,

Dean of the Faculty of Economics, Oles Honchar Dnipro National University

SUBSTANTIATION OF STOCHASTIC CHAOS MODELS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF INVESTMENT STRATEGIES IN INTERNATIONAL STOCK MARKETS

Повторення фінансових криз і нездатність стандартних економетричних моделей адекватно пояснювати коливання доходності активів на світових фондових ринках підкреслюють необхідність створення нового підходу до моделювання фінансових часових рядів. Посилення взаємозв'язку між фондовими індексами чинить дедалі значніший вплив на цінову динаміку фінансових активів, що призводить до збільшення ринкового ризику, який пов'язаний з ризиком ліквідності, оскільки шок ліквідності впливає на ціни фінансових активів. Неправильна оцінка ринкового ризику може призвести до обвалу фондового ринку і тим самим сприяти виникненню системного ризику. Ринковий ризик тісно пов'язаний з ризиком фінансового зараження і, особливо, з кореляційними розривами. Яку б мету не переслідував інвестор, чи то формування портфеля, чи то багатовимірний аналіз, взаємозв'язки, які можуть існувати між різними фінансовими активами, мають бути виявлені за допомогою відповідних інструментів. Включивши зв'язок між двома фінансовими активами до економетричної моделі, інвестори зможуть точніше передбачати цінові тенденції та оцінювати ризики, підвищуючи доходність портфеля в рамках інвестиційної стратегії. Наявні обмеження лінійних економетричних моделей і стохастичні підходи до нелінійності сприяють появі нового уявлення про ринки як про місця суперництва різнопланових економічних агентів, взаємодія між якими може створювати хаотичні структури. В описовому плані використання моделей стохастичного хаосу для відображення взаємозв'язків між активами може сприяти розвитку дискусії про взаємозалежність і фінансове зараження. Шум, створюваний агентами-спекулянтами, може включати структури з довгою пам'яттю, а модель GARCH, що включає цей тип структури, може бути об'єднана з хаотичною моделлю для опису еволюції фінансового часового ряду. Різні режими волатильності на глобальних фондових ринках

відображають боротьбу між прихильниками фундаментального і технічного аналізу за домінування, тому доцільно використовувати моделі стохастичного хаосу з перемиканням режимів. Застосування моделей стохастичного хаосу дає можливість підвищити якість прогнозування ринкового ризику в контексті вдосконалення інвестиційних стратегій на міжнародних фондових ринках.

The recurrence of financial crises and the inability of standard econometric models to adequately explain fluctuations in asset returns in global stock markets highlight the need for a new approach to modeling financial time series. Strengthening the relationship between stock indices has an increasingly significant impact on the price dynamics of financial assets, which leads to an increase in market risk, which is associated with liquidity risk, since liquidity shock affects the prices of financial assets. A misjudgment of market risk can lead to a crash in the stock market and thus contribute to systemic risk. Market risk is closely related to the risk of financial contagion and especially to correlation gaps. Whatever the investor's goal, be it portfolio building or multivariate analysis, the relationships that may exist between different financial assets must be identified using appropriate tools. By incorporating the relationship between two financial assets into an econometric model, investors can more accurately anticipate price trends and assess risks, increasing portfolio returns as part of their investment strategy. The existing limitations of linear econometric models and stochastic approaches to nonlinearity contribute to the emergence of a new understanding of markets as places of competition for diverse economic agents, the interaction between which can create chaotic structures. Descriptively, the use of stochastic chaos models to capture the interrelationships between assets can contribute to the discussion of interdependence and financial contagion. Noise generated by speculator agents can include long memory structures, and a GARCH model including this type of structure can be combined with a chaotic model to describe the evolution of a financial time series. The different modes of volatility in global stock markets reflect the struggle between fundamental and technical analysts for dominance, so it is preferable to use modes switching stochastic chaos models. The use of stochastic chaos models makes it possible to improve the quality of market risk forecasting in the context of improving investment strategies in international stock markets.

Ключові слова: прогнозування, ринковий ризик, волатильність, моделі стохастичного хаосу, стратегії інвестування, міжнародні фондові ринки, фінансові кризи.

Key words: forecasting, market risk, volatility, stochastic chaos models, investment strategies, international stock markets, financial crises.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Присудження ще у далекому 2013 році премії Шведського державного банку з економічних наук пам'яті Альфреда Нобеля Ю. Фама, Л.П. Хансену та Р. Шиллеру "за емпіричний аналіз зміни ціни активів" засвідчує важливість досліджень динаміки біржових цін та кращого розуміння функціонування фондових ринків за умов глобалізації, що зростає, для ефективнішого прогнозування фінансових криз. З моменту "Тюльпанової кризи" (1634 рік) минуло майже чотири століття, відзначені особливим розвитком типології криз — якщо перші кризи у фінансовій історії часто були пов'язані з обмінними курсами, банківськими або біржовими кризами, то сьогодні дедалі частіше трапляються кризи в галузі нерухомості, облігацій і суверенних боргів. У роботі [24] проведено аналіз 800-річної історії фінансових криз і показано схожість між такими подіями.

Фінансова криза 2008 року, відома як "іпотечна криза", що вразила всі світові фінансові ринки, близька до того, щоб стати найбільшою фінансовою кризою, яку коли-небудь бачив світ. Криза виникла у сфері іпотечного кредитування населення США і поширилася на всю

банківську та фінансову систему, здивувавши не тільки своїми масштабами, а й причинами, які роблять її унікальною. Іпотечна криза породила європейську боргову кризу, що призвело до труднощів на фінансових ринках країн ЄС. Ця подвійна фінансова криза, що вразила низку європейських країн, викликала безліч запитань щодо подібностей, відмінностей і взаємозалежності між фондовими ринками економічно неоднорідних країн ЄС.

Європейська боргова криза в зоні євро є подвійним наслідком іпотечної кризи — спричиненого нею сповільнення економічного зростання та недовіри інвесторів до стійкості європейських боргових зобов'язань, обтяжених, з одного боку, політикою підтримки банківського та фінансового сектору, а з іншого — політикою відновлення економіки. Специфіка економічного і валютного союзу ЄС робить його особливим "інкубатором", у якому побоювання інвесторів посилюються, що проявилось в стратегічному виборі між країнами Єврозони, коли перевагу надають банківським активам і державним цінним паперам найбільш платоспроможних країн. Така асиметрія між країнами Єврозони відбивається на індексах фондових ринків — грецька та ірландська кризи поступово поширюються на фондові ринки Іспанії, Португалії, Італії та меншою мірою Франції

та Німеччини. Європейська боргова криза призвела до створення в рамках економічного і валютного союзу ЄС єдиного механізму нагляду, покликаного здійснювати наднаціональний пруденційний нагляд за великими кредитними організаціями, які до цього моменту перебували під наглядом на національному рівні. Цей механізм є частиною ширшої структури, а саме банківського союзу в рамках Єврозони.

Ця європейська боргова криза виявила низку ключових уроків, які стосуються не тільки державних цінних паперів, що видаються більш ризикованими, а насамперед фінансових зв'язків між основними фондовими ринками Єврозони. З аналітичного погляду такі події є частиною дискусії про взаємозалежність і фінансове зараження (financial contagion). Протягом тривалого часу в економічній літературі приділялася увага критеріям розмежування відносин взаємозалежності та фінансового зараження. Поступово дискусія перейшла в сферу економетрики, і було розроблено безліч моделей, здатних враховувати розриви кореляції.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Ціновим коливанням на фондових ринках присвячено доволі багато наукових досліджень, серед яких слід відзначити роботи таких учених, як Л. Алессі та М. Керссенфішер [3], Р. Бейлі, Т. Боллерслев і Г. Мікельсен [4], Р. Енгл [10], Ю. Фама та К. Френч [11], Л.П. Хансен та К. Сінглтон [14], І. Джу та А. Тіммерманн [29]. Проте економетричні моделі, які вони використовують, не можуть пояснити безліч емпіричних закономірностей на фондових ринках, включаючи хаотичні структури, і забезпечити прийнятну якість прогнозування при оцінюванні ринкових ризиків. Тому, застосування моделей стохастичного хаосу для відображення взаємозв'язків між фінансовими активами може сприяти підвищенню ефективності інвестиційних стратегій на фондових ринках.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ (ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ)

Визначити основні напрями підвищення точності прогнозування ринкового ризику на основі поєднання хаотичного та стохастичного підходів у контексті вдосконалення стратегій інвестування на міжнародних фондових ринках.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

У межах напряму фінансової кліометрії було встановлено збільшення частоти криз після розпаду Бреттон-Вудської системи 1971 року, а також констатовано, що ймовірність виникнення валютної кризи після 1971 року збільшилась майже вдвічі, порівняно з періодом 1945—1971 років [6]. Таке збільшення пов'язане з:

- 1) повторним виникненням банківських криз;
- 2) збільшенням частоти валютних криз;
- 3) поверненням подвійних криз.

Частоту виникнення подвійних криз у країнах з економікою, що розвивається, розглядають у численних дослідженнях, зокрема в роботі [19], де робиться висновок про те, що в країнах з новою фінансовою еконо-

мікою частота подвійних криз зростає. Крім того, у дослідженні МВФ підкреслюється, що фінансові кризи виявилися набагато руйнівнішими для реального сектору економіки — вплив банківських криз на ВВП оцінюють у 11,5%, а в разі подвійних криз він зростає до 14% [16]. Системні наслідки фінансових криз для реальної економіки різноманітні, оскільки вони по-різному впливають на всіх економічних агентів залежно від характеру кризи. Фінансова криза, як правило, призводить до обмеження кредитування підприємств і домогосподарств, що спричиняє падіння виробництва і споживання. Руйнівні наслідки для бізнесу посилюються тим, що інвестори стають дедалі неохочішими до ризику і вимагають вищої доходності. Відсутність упевненості та довіри в економічній системі призводить до падіння попиту й одночасно до явища "творчого руйнування". У роботі [26] обґрунтовано, що економічна криза сприяє довгостроковому зростанню продуктивності і таким чином, усуває найменш ефективні компанії. Фінансові кризи також впливали на економіку віртуальних світів, наприклад, Second Life [2]. Крім мікроекономічних наслідків фінансових криз, регулятори мають забезпечувати стабільність міжнародної фінансової системи.

Єдиної думки щодо ролі державних структур в економічній системі не спостерігається. Починаючи з рекомендацій Адама Сміта і закінчуючи марксистською теорією, існують різні аргументи на користь участі або навпаки, неучасті державних структур. Одні вчені вважають, що процес конкуренції на ринках достатній для відбору найкращих агентів, а інші вважають, що відсутність правил, які виходять від державних органів, може лише заохочувати опортуністичну поведінку. Однак практично всі сходяться на думці, що державні структури повинні втручатися в ситуацію під час фінансової кризи. Адже виникнення подібних явищ свідчить про недосконалість ринків, а отже, і про необхідність державних дій, масштаби та характер яких досі є предметом дискусій. Прихильники гіпотези ефективного ринку рекомендують мінімальне втручання держави, достатнє для забезпечення прозорості інформації та ринкової дисципліни. Прихильники кейнсіанської політики, навпаки, вважають, що ринки неминуче нестабільні і що для запобігання та регулювання фінансових криз необхідне активне втручання держави. З цього погляду, ідея, яку обстоюють прихильники кейнсіанської політики, пов'язана з першорядною необхідністю — стабільністю банківської та фінансової системи.

Фінансова нестабільність тягне за собою витрати для суспільства, які не повністю враховуються економічними суб'єктами, що зумовлює необхідність державного втручання. В умовах зростаючої глобалізації фінансова стабільність набуває міжнародного характеру, що зумовлює необхідність розроблення глобальної політики такого втручання. Іпотечна криза 2008 року стала причиною проведення кількох самітів G20, метою яких був розвиток міжнародного співробітництва та вироблення пропозицій щодо подолання фінансових криз. За прикладом поняття "глобального суспільного блага", запропонованого в роботі [20], міжнародна фінансова стабільність являє собою загальний інтерес. Це суспільне благо, але не загальне благо, оскільки не всі економічні агенти однаково зацікавлені в ньому, оскільки

низка з них виграє від нестабільності фінансових ринків. Крім того, держави схильні обмежувати виробництво глобальних суспільних благ, у зв'язку з тим, що воно пов'язане з певними витратами і вигідне іншим державам, що зумовлює необхідність міжнародної координації.

З огляду на викладене вище виникає проблема морального ризику, яка є основним аргументом прихильників "невидимої руки ринку", оскільки вони вважають, що втручання держави недоцільне, адже воно заохочує ризиковані дії фінансових агентів, які в разі дефолту будуть врятовані. Автори роботи [9] пропонують моделювати поведінку фінансових агентів у разі державного втручання. Використовуючи модель подвійних криз [18], можна дійти висновку, що фінансові агенти схильні йти на більший ризик, якщо вони очікують втручання держави в разі кризи. Передбачаючи політику, яка проводитиметься в разі виникнення труднощів, ці агенти сприяють розвитку подвійної кризи, яка спочатку була просто банківською кризою. Емпірично моральний ризик підтверджується численними дослідженнями, зокрема МВФ [17]. Крім того, у роботах [5; 23] встановлено, що існує кореляція між імовірністю порятунку та масштабами фінансової кризи. Моральний ризик, пов'язаний із втручанням державних органів, належить здебільшого до політики управління кризою, а не до її запобігання. Запровадження пруденційних правил обмежує надмірний ризик фінансових агентів [1]. Аналіз історії розвитку фінансової сфери показує, що державне втручання тісно пов'язане з фінансовою сферою — основні досягнення в галузі фінансового регулювання часто відбуваються після фінансових криз.

Необхідність забезпечення надійності та стабільності фінансово-економічної системи призвела до створення наднаціональними регулюючими органами системи пруденційного регулювання. До пруденційних правил, що встановлюються регулюючими органами, висуваються дедалі вищі вимоги, особливо коли вони визначаються в умовах кризи. Базельський комітет з банківського нагляду було створено після ліквідації німецького банку Herstatt у 1974 році, наслідки якої поширилися на велику кількість банків. Основні нововведення розробки цього комітету часто з'являються вслід за фінансовою кризою. Базель I (1988 рік) став відповіддю на крах у жовтні 1987 року, а Базель III посилив пруденційні правила після кризи 2008 року.

Посилення фінансових криз спонукає регуляторів вимагати дедалі надійніших інструментів, що дають змогу впоратися з невизначеністю майбутнього [28]. У контексті ринкового ризику, як одного з найбільш значущих фінансових ризиків, Базельський комітет з банківського нагляду затвердив розрахунок величини капіталу, необхідного для покриття цього ризику, з використанням показника Value-at-Risk (VaR). Метод VaR був популяризований восени 1994 року банком JP Morgan за допомогою методики Riskmetrics і рекомендований "Групою тридцяти" в 1993 році. VaR являє собою рівень втрат вартості активу на певну дату і для заздалегідь визначеного рівня ймовірності. Особливий інтерес до цієї міри ризику з боку регулюючих органів пояснюється не тільки в контексті підвищення довіри до фінансових інститутів, а й прагненням до певної гармонізації між країнами. В економетричній літературі VaR є предме-

том численних досліджень, що призвело до розроблення багатьох методів оцінювання, які класифікуються залежно від набору використовуваної інформації. Незважаючи на нібито простоту використання цієї міри, вона має низку обмежень, які спонукали багатьох авторів її вдосконалити. Однак переваги методу VaR роблять його основним інструментом вимірювання ринкового ризику. Важливість його в останні десятиліття та тісний зв'язок із ризиками ліквідності, фінансового зараження та системними ризиками призвели до збільшення кількості нормативних, теоретичних та емпіричних праць із виявлення, аналізу, моделювання та оцінювання цього ризику. З погляду регулювання, пруденційні угоди Базельського комітету з банківського нагляду відзначені особливим розумінням ринкового ризику — відповідно до Базеля II він є частиною індивідуалізованого підходу, що, по суті, спрямований на кількісне оцінювання цього ризику для активу або портфеля активів. Нові пруденційні стандарти, визначені в рамках Базеля III, пропонують новий вимір ринкового ризику — з мікроекономічного погляду ринковий ризик, як і раніше, вимірюється за допомогою інструменту VaR, але з макроекономічного погляду він пов'язаний з іншими видами ризику. Наприклад, він пов'язаний з ризиком ліквідності, оскільки шок ліквідності впливає на ціни активів і, отже, створює ринковий ризик, який є невід'ємною частиною системного ризику, оскільки неправильне оцінювання ринкового ризику може призвести до обвалу ринку і тим самим сприяти виникненню системного ризику. Також, ринковий ризик тісно пов'язаний з ризиком фінансового зараження і, особливо, з кореляційними розривами.

Питання про взаємозалежність цін між двома активами є актуальним і відіграє важливу роль у цілій низці аспектів фінансової сфери, оскільки підкреслює взаємозв'язок, що може існувати між різними активами, та показує, наскільки цікаво чи нецікаво тримати певні цінні папери в одному портфелі. Наприклад, інвестору, який формує портфель з метою диверсифікації ризику, необхідно забезпечити низьку кореляцію між активами. Крім зазначених особливостей, важливих для формування портфеля, фактор взаємозалежності дає інвесторам багату інформацію про динаміку розвитку того чи іншого активу. Включивши зв'язок між двома активами у відповідну модель, інвестори зможуть точніше бачити цінові тенденції та передбачити ризики, пов'язані з їхніми активами. Яку б мету не мав інвестор, чи то формування портфеля, чи то багатовимірний аналіз, взаємозв'язки, які можуть існувати між різними активами, мають бути виявлені за допомогою відповідних інструментів. В економічній літературі приділялося багато уваги питанням взаємозалежності цін активів, зокрема, через недосконалість використовуваних підходів. Нелінійна природа економічних і фінансових часових рядів не дає змоги виміряти взаємозалежність за допомогою лінійного коефіцієнта кореляції. Це обмеження проявляється в наявності розривів в умовних лінійних коефіцієнтах кореляції (кореляційні розриви), аналіз яких спонукав фахівців зосередити свої дослідження на двох напрямках:

- 1) фінансове зараження;
- 2) інтеграція кореляційних розривів у відповідну модель.

Кореляційні розриви, що свідчать про посилення взаємозв'язків, інтерпретуються як маркер явища фінансового зараження на ринках. Відмінність між взаємозалежністю та фінансовим зараженням дуже важлива в контексті політики державного втручання. Якщо відносини вважаються взаємозалежними, то короткострокова політика втручання буде неефективною. Відносини взаємозалежності — це довгострокові відносини, що відображають зв'язки між двома або більше ринками, які залишаються незмінними незалежно від аналізованого періоду. За наявності ж відносин фінансового зараження короткострокова політика інтервенцій банківських регуляторів або МВФ може обмежити наслідки кризи. Ідентифікація відносин фінансового зараження має вирішальне значення для визначення відповідної державної політики, оскільки воно є зовнішнім фактором для зараженого ринку і не може призвести до фінансової компенсації [8]. Тому саме державні органи мають пропонувати в рамках відповідної політики рішення щодо обмеження наслідків шоку фінансового зараження. З цього погляду важливо провести чітку відмінність між активами, що характеризуються взаємозалежністю, та активами, відносини між якими є фінансово заразними. Посилення взаємозв'язку між двома фондовими індексами чинить більш істотний вплив на динаміку цін, що в свою чергу, призводить до збільшення ринкового ризику. Якщо фінансове зараження відбулося, то посилюється проциклічність показників ризику — ось чому важливо виявити ті взаємозалежності, що можуть до нього призвести і, відповідно, до суттєвої зміни ринкового ризику. Саме з цією метою було розроблено низку моделей, у яких зроблено спроби подолати обмеження, зумовлені теоретичною базою досліджень, що ґрунтується на центральному припущенні про ефективність фінансових ринків.

Ідентифікація та прогнозування ринкового ризику дає змогу знизити ймовірність виникнення фінансових криз, які як ніколи актуалізують знамениту дискусію про ефективність ринків. Ефективність ринку, що є одним із центральних понять фінансової теорії, зводиться до одного з її основоположних положень, згідно з яким ціна активу відображає всю наявну інформацію. Як предмет суперечок між теоретиками і практиками фінансового ринку, ринкова ефективність, якщо вона враховується, звужує значною мірою традиційне управління інвестиційним портфелем. Оскільки це ставить під сумнів ефективне управління, за якого керуючі пояснюють свій успіх знанням ринку, його неефективністю та здатністю обирати різні цінні папери згідно з певними процесами управління. Таким чином, ринкова ефективність сильно обмежує роботу керуючих інвестиційними портфелями в контексті зниження результативності, змушуючи їх займатися пасивним управлінням, що менш вигідно. Тому практики намагаються прогнозувати рух цін на активи, а теоретики розглядають зміни доходності як екзогенні змінні, ризик яких портфельне управління намагається обмежити. Центральна ідея гіпотези ефективного ринку полягає в тому, що розбіжності між поточними цінами та фундаментальною вартістю цінних паперів, як це спостерігалось восени 2008 року, є лише результатом екзогенних шоків, що тимчасово впливають на ринки, а їхні коливання, пов'язані з появою не-

передбачуваної інформації про фундаментальні показники, мають випадковий характер. Таким чином, ринок сприймається як місце, позбавлене недоліків, де агенти поведуться раціонально, як *homo oeconomicus*. Тривожне усвідомлення того, що гіпотеза ефективного ринку не здатна врахувати події, подібні до тих, які спостерігалися під час іпотечної кризи 2008 року, змусило багатьох економістів взяти до уваги поведінкові аспекти в діях економічних агентів. Уявлення про фінансові ринки як про місце, де стикаються різнопланові агенти, дає змогу розробляти багатоагентні моделі, вибір яких визначає фінансову динаміку, а цінові коливання, що спостерігаються при цьому, відображають розподіл різних категорій агентів. У межах економетричного підходу дослідження флуктуацій на фондових ринках є результатом специфічного статистичного опрацювання, що ґрунтується на різних підходах до аналізу часових рядів.

У світі, де майбутнє більш ніж невизначене і схильне до випадкових потрясінь, які можуть поставити під загрозу стабільність міжнародної фінансової системи, досягнення економетрики часових рядів дозволяють більш точно прогнозувати цінові рухи на фондових ринках. Економетрика часових рядів дала змогу виявляти тенденції в економічній динаміці та розробити методи прогнозування, однак зіштовхнулася із серйозними обмеженнями, щойно впали структурні моделі, засновані на кейнсіанському підході. Однак після такого краху вона набула небувалого розвитку, пов'язаного, зокрема, з досягненнями в галузі теоретичної макродинаміки, що виявили низку проблем, аналіз яких потребував застосування відповідного інструментарію. Дослідження часового ряду потребує розроблення низки методик, що дають змогу проводити відповідну статистичну обробку та розв'язувати різноманітні проблеми, які виникають під час аналізу ряду (сезонність, тренд, гетероскедастичність, розрив тренда, шум). Важливою роботою, що дала новий імпульс економетриці часових рядів, стала книга "Аналіз часових рядів, прогноз і управління" [7], опублікована Дж. Боксом і Г. Дженкінсом у 1970 р., у якій було запропоновано нове бачення аналізу часових рядів. Ця книга належить до особливої галузі економетрики часових рядів — лінійної економетрики. Ключове досягнення цих авторів полягало у створенні 5-етапного ітераційного алгоритму з переходом від дослідження часового ряду до його прогнозу. Центральним етапом цього алгоритму є ідентифікація відповідного ARMA-процесу через дослідження корелограм повної та часткової автокореляції. Простота лінійних моделей, зокрема ARMA-моделей, сприяла популярності та переважанню цих методів у галузі економетрики часових рядів. Таким чином, застосування ARMA-процесів зумовлено лінійністю динаміки, що характеризує часовий ряд, а ця умова для більшості фінансових рядів, як правило, не виконується, що свідчить про недоліки лінійних моделей для врахування різних спостережуваних характеристик. Ця обставина спонукає звернутися до нелінійного економетричного підходу, який дає змогу розглянути більшу кількість характеристик, що лежать в основі фінансових рядів, що в іншому випадку було обмежено. Можна виокремити три основні досягнення в галузі нелінійної економетрики:

1) моделі, що враховують зміну режимів середнього;

- 2) моделі з довгою пам'яттю;
- 3) моделі типу ARCH.

Для подолання недоліків ARMA-моделей Р. Енгл [10] запропонував моделі авторегресійної умовної гетероскедастичності (ARCH), які здатні вловлювати поведінку волатильності в часі. Ці моделі та їхні розширення зробили значний внесок у вивчення волатильності, особливо у фінансових рядах. Багато досліджень було присвячено вивченню структур з довгою пам'яттю у фінансових рядах дохідності, що може бути враховано дробово-інтегрованими моделями авторегресії типу ARFIMA [13; 15] або FIGARCH [27]. Розроблення моделей, як з марковськими перемикаваннями режимів, так і ARCH-процесами, дає змогу підійти до волатильності фінансового часового ряду з точки зору високої/низької волатильності. Такі моделі надають можливість відрізнити кризовий режим від більш спокійного. Є велика кількість моделей, що поєднують ARCH-ефекти, довгу пам'ять та/або перемикавання режимів, основні переваги яких полягають у:

- 1) здатності враховувати певні характерні структури фінансових часових рядів;
- 2) інтерпретації послідовних режимів розвитку та передбаченні розвороту цін у разі підходу з марковськими перемикаваннями режимів.

Незважаючи на всі ці досягнення, питання про моделювання фінансових часових рядів залишається відкритим, оскільки такі моделі не можуть відсіяти безліч емпіричних закономірностей, зокрема хаотичні структури, і забезпечити прийнятні короткострокові та середньострокові прогнози. Це неявно спонукає до прийняття допущення про стохастичність процесів на противагу допущенню про детермінізм, звертаючись до особливої галузі нелінійної економетрики, а саме до теорії хаосу.

Ще у 1972 р. американський метеоролог Е. Лоренц уперше поставив своє знамените запитання: "Чи може помах крил метелика в Бразилії викликати торнадо в Техасі?". У ньому проявилася та чутливість до початкових умов, яка лежить в основі теорії хаосу. Е. Лоренц відкрив "ефект метелика" випадково 1963 року під час експерименту. Цей учений пояснив вирішальне значення початкових умов для передбачення майбутніх подій [22].

Розвиток теорії хаосу відбувається в певних межах — вона виникає з безлічі досліджень, здійснених у різних наукових сферах, але саме в природничих науках розроблено її основні поняття. Ця теорія кидає виклик ньютонівському баченню світу, а в соціальних науках вона являє собою світоглядний компроміс між застарілим неокласичним баченням і необхідністю враховувати складнощі фінансових ринків, не вдаючись до міждисциплінарного підходу. Інтерес до теорії хаосу пов'язаний з тим переосмисленням, яке вона внесла в аналіз часових рядів та їх прогнозування. Особливість цієї теорії пов'язана із самою природою процесів, що розглядаються — якщо нелінійна економетрика часових рядів і аналіз на її основі засновані на гіпотезі стохастичності, то теорія хаосу відкриває нові перспективи, розглядаючи детерміновані системи. В економетриці вона дає змогу розв'язувати нові дослідницькі задачі в галузі аналізу фінансових часових рядів і пропонує нові інструменти для кращого розуміння криз на фінансових ринках. Тривалий час детермінізм, визначений П.С. Лапласом, вважали несуміс-

ним із безладом, проте роботи [21; 25] показали, що детерміновані системи можуть демонструвати хаотичну та непередбачувану поведінку за невеликої кількості динамічних змінних, і такі системи стали називати детермінованим хаосом. Тому, детерміністський підхід дає змогу уявити коливання фінансових рядів, що характеризують хаотичну систему, ендегенним чином, тобто як детерміновану систему, що має вигляд неупорядкованого випадкового процесу. Увага до хаотичних процесів пов'язана з тим, що деякі хаотичні функції дають змогу точніше врахувати особливості фінансових рядів.

Поняття стохастичного хаосу, запропоноване М. Фреєм та Е. Сіміу [12], демонструє важливість характеристики шуму в хаотичних моделях. Ідея суто детермінованої хаотичної системи, здатної описувати коливання часового ряду, передбачає відсутність шоків і дає змогу будувати прогноз часового ряду з урахуванням чутливості до початкових умов. Важливо розуміти, що така чутливість не може бути прирівняна до шоку, а скоріше пов'язана з неточністю вимірювань. Таким чином, здатність детермінованих хаотичних моделей створювати коливальні траєкторії, особливо у високих розмірностях, залишається часто недостатньою для врахування великих коливань у фінансових часових рядах. М. Фрей і Е. Сіміу [12] вважають, що ідея детермінованого хаотичного підходу до моделювання систем залишається недостатньою, але ці вчені вважають, що в загальній моделі можна врахувати детерміновану і стохастичну природу часового ряду. Присутність на фінансових ринках агентів-спекулянтів створює значний шум, який може бути змодельований, залежно від наявних характеристик:

- 1) висока волатильність, що спостерігається на ринках, може мати всі ознаки ARCH-ефекту: кластери волатильності, висока гетероскедастичність тощо, тому може бути змодельована за допомогою класичної моделі типу GARCH;

- 2) шум, створюваний агентами-спекулянтами, може містити структури з довгою пам'яттю, а модель GARCH, що включає цей тип структури, може бути об'єднана з хаотичною моделлю для опису еволюції фінансового часового ряду;

- 3) різні режими волатильності на фінансовому ринку відображають боротьбу між прихильниками фундаментального і технічного аналізу за домінування, тому доцільніше використовувати моделі стохастичного хаосу з перемикаваннями режимів.

З погляду моделювання, перші дві характеристики нерозривно пов'язані з природою і самим існуванням структур у часовому ряду. Водночас використання моделі стохастичного хаосу з перемикаваннями режимів не пов'язане безпосередньо з самими структурами, наявними у фінансовому часовому ряду.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Складність фінансових ринків і повторення особливо важких криз ставлять під сумнів ефективність так званих стандартних економетричних моделей для пояснення та прогнозування фінансової динаміки. Обмеження лінійних моделей і стохастичні підходи до нелінійності сприяють появі нового уявлення про фінансові ринки як про місця

суперництва різнопланових агентів, взаємодія між якими породжує хаотичні структури. Проте сильні коливання фінансових часових рядів вказують на обмеженість суто хаотичного підходу і припускають компроміс між стохастичною частиною, здатною врахувати сильні амплітуди коливань, і хаотичною частиною, необхідною для опису коливань з малими амплітудами. В описовому плані використання моделей стохастичного хаосу для відображення взаємозв'язків між активами може сприяти розвитку дискусії про взаємозалежність і фінансове зараження. У цьому контексті, видається перспективним удосконалення моделей хаотичної динаміки з перемиканням режимів. Моделювання на основі поєднання хаотичного та стохастичного підходів може поліпшити якість прогнозування ринкового ризику з метою підвищення ефективності інвестиційних стратегій на міжнародних фондових ринках.

Література:

1. Горьова В.М., Смирнов С.О., Павлов Р.А. Сутність та значення рейтингової оцінки страхових компаній. Економічний простір: зб. наук. праць. 2010. № 36. С. 100—108.
2. Павлов Р.А. Вплив світової фінансової кризи на економіку віртуального світу Second Life. Фінансово-кредитна діяльність: проблеми теорії та практики. 2011. Вип. 2 (11). С. 309—316.
3. Alessi L., Kerssenfischer M. The response of asset prices to monetary policy shocks: Stronger than thought. *Journal of Applied Econometrics*. 2019. Vol. 34(5). P. 661-672. DOI: <https://doi.org/10.1002/jae.2706>
4. Baillie R.T., Bollerslev T., Mikkelsen H.O. Fractionally integrated generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*. 1996. Vol. 74 (1). P. 3—30. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0304-4076\(95\)01749-6](https://doi.org/10.1016/s0304-4076(95)01749-6)
5. Bordo M. The Lender of Last Resort: Alternative Views and Historical Experience. *FRB Richmond Economic Review*. 1990. Vol. 76 (1). P. 18—29.
6. Bordo M., Eichengreen B., Klingebiel D., Martinez-Peria M.S. Is the crisis problem growing more severe? *Economic Policy*. 2001. Vol. 16 (32). P. 51—82. DOI: <https://doi.org/10.1111/1468-0327.00070>
7. Box G., Jenkins G. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. San Francisco: Holden-Day. 1970. 553 p.
8. Constancio V. Contagion and the European debt crisis. *Financial Stability Review*. 2012. Vol. 16. P. 109—121.
9. Corsetti G., Pesenti P., Roubini N. What caused the Asian currency and financial crisis? Japan and the World Economy. 1999. Vol. 11(3). P. 305-373. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0922-1425\(99\)00019-5](https://doi.org/10.1016/s0922-1425(99)00019-5)
10. Engle R. Autoregressive conditional heteroskedasticity with estimates of the variance of U.K. inflation. *Econometrica*. 1982. Vol. 50 (4). P. 987—1008. DOI: <https://doi.org/10.2307/1912773>
11. Fama E.F., French K.R. Permanent and temporary components of stock prices. *Journal of Political Economy*. 1988. Vol. 96 (2). P. 246—273. DOI: <https://doi.org/10.1086/261535>
12. Frey M., Simiu E. Deterministic and stochastic chaos. *Computational Stochastic Mechanics*. 1993. P. 195—216.
13. Granger C., Joyeux R. An introduction to long memory time series models and fractional differencing. *Journal of Time Series Analysis*. 1980. Vol. 1 (1). P. 15—29. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9892.1980.tb00297.x>
14. Hansen L.P., Singleton K.J. Generalized Instrumental Variables Estimation of Nonlinear Rational Expectations Models. *Econometrica*. 1982. Vol. 50 (5). P. 1269. DOI: <https://doi.org/10.2307/1911873>
15. Hosking J. Fractional differencing. *Biometrika*. 1981. Vol. 68(1). P. 165—176. DOI: <https://doi.org/10.1093/biomet/68.1.165>
16. IMF. Financial crises: Causes and indicators. Tech. rep., *World Economic Outlook*. 1998. Washington DC: IMF. DOI: <https://doi.org/10.5089/9781557757432.081>
17. IMF. Global Financial Stability Report. 2002. Washington DC: IMF. DOI: <https://doi.org/10.5089/9781589061927.082>
18. Jeffers E., Plihon D. The role of central banking: lessons from history. *Papers in Political Economy*. 2022. Vol. 81 (2). P. 303—327. DOI: <https://doi.org/10.3917/cep1.081.0303>
19. Kaminsky G.L., Reinhart C.M. The twin crises: the causes of banking and balance-of-payments problems. *American Economic Review*. 1999. Vol. 89 (3). P. 473—500. <https://doi.org/10.1257/aer.89.3.473>
20. Kindleberger C.P. *The world in depression, 1929—1939*. Berkeley: University of California Press. 1986. 355 p.
21. Lorenz E. Deterministic nonperiodic flow. *Journal of the atmospheric sciences*. 1963. Vol. 20(2). P. 130-141. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1963\)020%3C0130:dnf%3E2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1963)020%3C0130:dnf%3E2.0.co;2)
22. Lorenz E.N. (1972). Predictability: does the flap of a butterfly's wings in Brazil set off a tornado in Texas? 139th Annual Meeting of the American Association for the Advancement of Science (29 Dec 1972), in *Essence of Chaos* (1995), Appendix 1, 181.
23. Masson P.R. Contagion-monsoonal effects, spillovers, and jumps between multiple equilibria. *IMF Working Papers*. 1998. Vol. 98 (42). DOI: <https://doi.org/10.5089/9781451856224.001>
24. Reinhart C., Rogoff K. This time is different: eight centuries of financial folly. *The SHAFR Guide Online*. 2009. DOI: https://doi.org/10.1163/2468-1733_shafr_sim280020583
25. Ruelle D., Takens F. On the nature of turbulence. *Communications in mathematical physics*. 1971. Vol. 20 (3). P. 167—192. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01646553>
26. Stallibrass D., Fingleton J. Regulation, Innovation, and Growth: Why Peer-to-Peer Businesses Should Be Supported. *Journal of European Competition Law & Practice*. 2016. Vol. 7 (6). P. 414—419. DOI: <https://doi.org/10.1093/jeclap/lpw021>
27. Tang T., Shieh S. Long memory in stock index futures markets: A value-at-risk approach. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*. 2006. Vol. 366. P. 437—448. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2005.10.017>
28. Zarutskaya E., Pavlov R., Pavlova T., Pawliszczy D., Kuchmacz B. Main characteristics of business models and risk profile of ukrainian banks. *Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice*, 2020. Vol. 2 (33). P. 15—22. DOI: <https://doi.org/10.18371/fcaptp.v2i33.206376>

29. Zhu Y., Timmermann A. Conditional rotation between forecasting models. *Journal of Econometrics*. 2022. Vol. 231 (2). P. 329—347. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2021.10.006>

References:

1. Horova, V.M. Smirnov, S.O. and Pavlov, R.A. (2010), "The essence and importance of the rating assessment of insurance companies", *Economic scope*, vol. 36. pp. 100—108.
2. Pavlov, R. A. (2011), "The impact of the global financial crisis on the economy of the virtual world Second Life", *Financial and Credit Activity: Problems of Theory and Practice*, vol. 2 (11), pp. 309—316.
3. Alessi, L. and Kerssenfischer, M. (2019), "The response of asset prices to monetary policy shocks: Stronger than thought", *Journal of Applied Econometrics*, vol. 34 (5), pp. 661—672. DOI: <https://doi.org/10.1002/jae.2706>
4. Baillie, R.T. Bollerslev, T. and Mikkelsen, H.O. (1996), "Fractionally integrated generalized autoregressive conditional heteroscedasticity", *Journal of Econometrics*, vol. 74 (1), pp. 3—30. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0304-4076\(95\)01749-6](https://doi.org/10.1016/s0304-4076(95)01749-6)
5. Bordo, M. (1990), "The Lender of Last Resort: Alternative Views and Historical Experience", *FRB Richmond Economic Review*, vol. 76 (1), pp. 18—29.
6. Bordo, M. Eichengreen, B. Klingebiel, D. and Martinez-Peria, M.S. (2001), "Is the crisis problem growing more severe?", *Economic Policy*, vol. 16 (32), pp. 51—82. DOI: <https://doi.org/10.1111/1468-0327.00070>
7. Box, G. and Jenkins G. (1970), *Time Series Analysis: Forecasting and Control*, Holden-Day, San Francisco, USA.
8. Constancio, V. (2012), "Contagion and the European debt crisis", *Financial Stability Review*, vol. 16, pp. 109—121.
9. Corsetti, G. Pesenti, P. and Roubini, N. (1999), "What caused the Asian currency and financial crisis?", *Japan and the World Economy*, vol. 11 (3), pp. 305—373. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0922-1425\(99\)00019-5](https://doi.org/10.1016/s0922-1425(99)00019-5)
10. Engle, R. (1982), "Autoregressive conditional heteroskedasticity with estimates of the variance of U.K. inflation", *Econometrica*, vol. 50 (4), pp. 987—1008. DOI: <https://doi.org/10.2307/1912773>
11. Fama, E.F. and French, K.R. (1988), "Permanent and temporary components of stock prices", *Journal of Political Economy*, vol. 96 (2), pp. 246—273. DOI: <https://doi.org/10.1086/261535>
12. Frey, M. and Simiu, E. (1993), "Deterministic and stochastic chaos", *Computational Stochastic Mechanics*, pp. 195—216.
13. Granger, C. and Joyeux, R. (1980), "An introduction to long memory time series models and fractional differencing", *Journal of Time Series Analysis*, vol. 1 (1), pp. 15—29. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9892.1980.tb00297.x>
14. Hansen, L.P. and Singleton, K.J. (1982), "Generalized Instrumental Variables Estimation of Nonlinear Rational Expectations Models", *Econometrica*, vol. 50 (5), pp. 1269. DOI: <https://doi.org/10.2307/1911873>
15. Hosking, J. (1981), "Fractional differencing", *Biometrika*, vol. 68 (1), pp. 165—176. DOI: <https://doi.org/10.1093/biomet/68.1.165>
16. IMF. (1998), *Financial crises: Causes and indicators*. Tech. rep., World Economic Outlook, IMF, Washington DC, USA. DOI: <https://doi.org/10.5089/9781557757432.081>
17. IMF. (2002), *Global Financial Stability Report*, IMF, Washington DC. DOI: <https://doi.org/10.5089/9781589061927.082>
18. Jeffers, E. and Plihon, D. (2022), "The role of central banking: lessons from history", *Papers in Political Economy*, Vol. 81 (2), pp. 303—327. DOI: <https://doi.org/10.3917/cep1.081.0303>
19. Kaminsky, G.L. and Reinhart, C.M. (1999), "The twin crises: the causes of banking and balance-of-payments problems", *American Economic Review*, vol. 89 (3), pp. 473—500. <https://doi.org/10.1257/aer.89.3.473>
20. Kindleberger, C.P. (1986), *The world in depression, 1929—1939*, University of California Press, Berkeley, USA.
21. Lorenz, E. (1963), "Deterministic nonperiodic flow", *Journal of the atmospheric sciences*, vol. 20 (2), pp. 130—141. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1963\)020%3C0130:dnf%3E2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1963)020%3C0130:dnf%3E2.0.co;2)
22. Lorenz, E.N. (1972), "Predictability: does the flap of a butterfly's wings in Brazil set off a tornado in Texas?" 139th Annual Meeting of the American Association for the Advancement of Science (29 Dec 1972), in *Essence of Chaos* (1995), Appendix 1, 181.
23. Masson, P.R. (1998), "Contagion-monsoonal effects, spillovers, and jumps between multiple equilibria", *IMF Working Papers*, vol. 98 (42). DOI: <https://doi.org/10.5089/9781451856224.001>
24. Reinhart, C. and Rogoff, K. (2009), "This time is different: eight centuries of financial folly", *The SHAFR Guide Online*. DOI: https://doi.org/10.1163/2468-1733_shafr_sim280020583
25. Ruelle, D. and Takens, F. (1971), "On the nature of turbulence", *Communications in mathematical physics*, vol. 20 (3), pp. 167—192. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01646553>
26. Stallibrass, D. and Fingleton, J. (2016), "Regulation, Innovation, and Growth: Why Peer-to-Peer Businesses Should Be Supported", *Journal of European Competition Law & Practice*, vol. 7 (6), pp. 414—419. DOI: <https://doi.org/10.1093/jeclap/lpw021>
27. Tang, T. and Shieh, S. (2006), "Long memory in stock index futures markets: A value-at-risk approach", *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, vol. 366, pp. 437—448. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2005.10.017>
28. Zarutskaya, E. Pavlov, R. Pavlova, T. Pawliszczy, D. and Kuchmacz, B. (2020), "Main characteristics of business models and risk profile of ukrainian banks", *Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice*, vol. 2(33), pp. 15—22. DOI: <https://doi.org/10.18371/fcaptp.v2i33.206376>
29. Zhu, Y. and Timmermann, A. (2022), "Conditional rotation between forecasting models", *Journal of Econometrics*, vol. 231 (2), pp. 329—347. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2021.10.006>

Стаття надійшла до редакції 07.09.2023 р.