

УДК 330.3:336:519.86

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ВАЛЮТНОГО РИНКУ В УМОВАХ ТРАНСФОРМАЦІЇ НА ОСНОВІ ІНТЕГРУВАННЯ МЕТОДІВ ТЕРМОДИНАМІКИ ТА ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

КВАСНІЙ Марія Миколаївна,

кандидат економічних наук,

доцент кафедри економіки та інформаційних технологій

Львівського навчально-наукового інституту ДВНЗ «Університет банківської справи»

e-mail: kvasnijmary@gmail.com

Анотація. Запропоновано моделювання динаміки валютного ринку в умовах трансформації на основі адаптації методів термодинамічних потенціалів і фрактального аналізу.

Перший з них дозволяє встановити стійкі зв'язки, отримати кінетичні моделі для функціонування валютного ринку, зокрема рівняння стану, аналоги співвідношень Максвелла, рівнянь Гіббса – Гельмгольца та законів термодинаміки. Другий – виявити можливості їхніх змін, діагностувати тип динаміки та спосіб організації процесу. Інтегрування методів дозволяє встановити інтервали динамічної рівноваги й моделювати динаміку як кусково-неперервну, на кожному інтервалі зі своєю потенціальною функцією.

Ключові слова: валютний ринок, трансформація, динаміка, моделювання, зовнішні впливи, термодинаміка, фрактальний аналіз.

Постановка проблеми. Упродовж останнього п'ятиліття політична, соціальна та економічна нестабільність в Україні негативно вплинула на ринкові очікування, що позначилося на збільшенні курсової волатильності гривні та під-

Аннотация. Предложено моделирование динамики валютного рынка в условиях трансформации на основании адаптации методов термодинамических потенциалов и фрактального анализа. Первый из них позволяет установить устойчивые связи, получить кинетические модели функционирования валютного рынка, в частности уравнения состояния, аналоги соотношений Максвелла, уравнений Гиббса – Гельмгольца и законов термодинамики. Другой – выявит возможности их изменений, диагностировать тип динамики и способ организации процесса. Интегрирование методов позволяет установить интервалы динамического равновесия и моделировать динамику как кусочно-непрерывную на каждом интервале со своей потенциальной функцией.

Ключевые слова: валютный рынок, трансформация, динамика, моделирование, внешние влияния, термодинамика, фрактальный анализ.

вищенні чистого попиту на іноземну валюту. Виконання зовнішніх зобов'язань держави відбулося завдяки міжнародним резервам, обсяг яких у 2015 році катастрофічно зменшився (рис. 1, [1]).

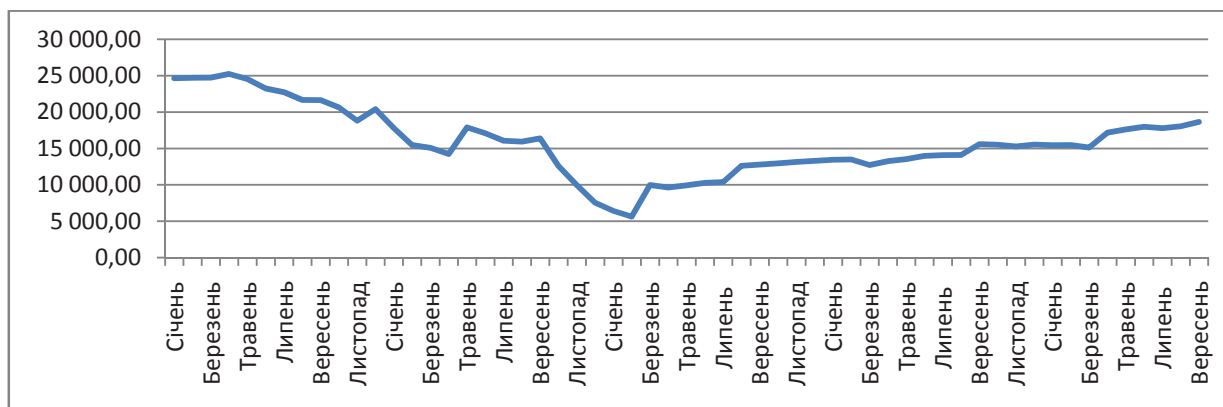


Рис. 1. Графік динаміки обсягу міжнародних резервів за період із 01.01.2013 до 01.09.2017

Примітка. Побудовано автором на основі [1].

Державні методи та валютні обмеження для забезпечення конвертованості валюти та ефектної інтеграції національної економіки у світову не забезпечили усталених тенденцій валютного ринку. Нестабільною виявилася і структура валютного ринку України [1]. Упродовж розгляданого періоду процеси на валютному ринку залишаються нестабільними, а їх динаміка нелінійною. Така динаміка зумовлена як внутрішніми трансформаційними процесами, так і зовнішніми впливами. Для забезпечення якості дослідження таких процесів виникає потреба в застосуванні математичних методів, які дозволяють замінити реальні процеси адекватними моделями, які враховують зміну поведінки, структури та взаємодію із зовнішнім середовищем.

Аналіз останніх досліджень. Серед різноманітних процесів у складних фінансово-економічних системах, до яких слід віднести і валютний ринок, особливе місце займають процеси самоорганізації та фазові переходи від впорядкованого до хаотичного режиму функціонування. Складні системи функціонують у режимі так званої «динамічної рівноваги», або існування «на межі хаосу» [2; 3]. З метою відзначення особливої ролі кооперативних ефектів у процесах самоорганізації використовується синергетичний підхід, головне завдання якого полягає у виявленні спільних закономірностей у процесах самоорганізації та універсальних методів їх дослідження. Фундаментальні результати в цьому напрямі закладені працями Г. Хакена, І. Пригожина, Б. Мандельброта, М. Мойсеева, В. Арнольда, С. Курдюмова, Р. Тома та іншими [3–6]. Завдяки інтересу до динаміки хаосу в різних дисциплінах з'явилися деякі нові критерії нелінійності, запропоновані У. А. Броком і К. Л. Сейерсом [7], Дж. А. Шейнкманом [8], М. Франком і Т. Стенгосом [9], П. Грасбергером і І. Прокоччіа [10]. З точки зору дослідників деякі системи розглядаються як детерміновані, але моделюються як реалізація випадкового процесу. Останнім часом за появи пакетів програм перевірка наявності детермінованого хаосу та нелінійності набуває популярності. Такі підходи використовуються для аналізу та моделювання нелінійних складних економічних систем з урахуванням джерел складності, колективних явищ та особливостей самоорганізації в роботах Е. Петерса [11], В. Занга [12], І. Коханенка [13], В. Вітлінського [14], В. Соловійова [2].

Проте із плином часу в умовах поширення глобалізаційних та трансформаційних процесів зростає мобільність та мінливість фінансово-

економічних систем, зокрема, валютного ринку, та зовнішніх впливів, що призводить до зміни характеру динаміки як за величиною, так і за напрямком, до появи нових властивостей та особливостей, що породжені змінними в часі зовнішніми умовами та внутрішніми структурними змінами. Цим зумовлена доцільність подальшого розвитку міждисциплінарного підходу, практики дослідження динаміки сучасних нестабільних фінансово-економічних систем, розробки нових та вдосконалення наявних методів аналізу структурних і динамічних характеристик трансформаційних процесів фінансового сектору економіки України, зокрема, валютного ринку.

Основні результати дослідження. «На противагу неокласикам, які трактували економічну динаміку як постійне повернення економіки до “ідеального стану” стаціонарної рівноваги, засновник неортодоксальної теорії економічного розвитку Й. Шумпетер висунув гіпотезу, яка пов'язувала розвиток економічної системи з її стрибкоподібними переходами до якісного нового стану, що ґрунтуються на інноваційних механізмах нових виробничих комбінацій [15, с. 157]. Відомий австрійський економіст розглядав періоди нерівноважного стану економічної системи як необхідне середовище для механізму реорганізації її структури шляхом групової взаємодії новаторів – підприємців, яка породжує синергетичний ефект, самоорганізацію соціуму та сприяє подоланню економічної кризи шляхом кластерного утворення нових виробничих комбінацій» [16].

Світ розвивався, змінювався, ускладнювався. Економісти все частіше стикалися з проблемами, які в рамках класичних парадигм не мали ефективного розв'язання. Розроблені для опису стійкого розвитку класичні методи і підходи не призначені для моделювання швидких змін, непередбачуваних стрибків та складних взаємодій. Це стало передумовою розвитку еволюційної економіки, предметом аналізу якої є нерівноважні процеси. Класична теорія розглядає ринкову рівновагу у разі фіксованих параметрів, а нерівноважні процеси – здебільшого, як нетривалі перехідні в околі точок рівноваги.

На думку автора, для дослідження сучасних складних та мінливих фінансово-економічних систем не слід відкидати чи применшувати значення класичної теорії аналізу динаміки й не перебільшувати значення еволюційної парадигми, а використовувати ці підходи залежно від суті економічної проблеми: класичну пара-

дигму, якщо процеси прямують до рівноваги, а еволюційну – для оцінки її втрати. Одним зі шляхів розв'язання сучасної проблеми дослідження трансформаційних процесів валютного ринку, що характеризується як залежністю від середовища (прямування до рівноваги), так і хаотичністю внаслідок внутрішніх джерел, є можливість інтегрування класичного й еволюційного підходів, зокрема, методів термодинаміки та фрактальної геометрії.

Фінансова глобалізація пришвидшує рух капіталів, взаємопроникнення фінансових ринків, посилює інтенсивність інформаційних потоків, тобто значною мірою формує поведінку фінансових процесів. Проте рівновага на фінансових ринках досягається завдяки гармонізації взаємодії із зовнішнім середовищем, вплив якого можна моделювати методом термодинамічних потенціалів. Для використання термодинамічного підходу зроблено припущення: динаміка, як зміна стану системи, відбувається за рахунок переходу від одного рівноважного стану до іншого рівноважного стану через рівноважний, або нерівноважний, але такий, час релаксації (повернення до рівноваги) якого є достатньо малим (прямує до нуля). У рамках цього припущення проведено подальший опис.

Для аналізу трансформаційних процесів валютного ринку на основі взаємодії із зовнішнім середовищем адаптовано метод термодинамічних потенціалів. На основі термодинамічного підходу введено потенціал функціонування валютного ринку, що є аналогом внутрішньої енергії в термодинаміці, має розмірність фінансових ресурсів і побудований на визначальних параметрах, обсягах придбання та реалізації ресурсів S та B , отримано рівняння стану, які встановлюють зв'язок ставок придбання та реалізації з граничними витратами на управління процесами з купівлі та продажу ресурсів. Згідно з методом термодинамічних потенціалів, змінюючи визначальні параметри, отримаємо аналогі вільної енергії, енергії Гіббса та ентальпії для функціонування валютного ринку, а використовуючи мнемонічний прийом Радушкевича – Борна, знаходимо аналоги рівнянь стану для нових визначальних параметрів (рис. 2, [17]).

Використовуючи формули для потенціалів функціонування валютного ринку України та мнемонічний прийом Радушкевича – Борна, отримано аналоги співвідношень Максвелла для фінансових процесів та аналоги рівнянь Гіббса – Гельмгольца, які дозволяють за одної відомої функції стану обчислити інші.

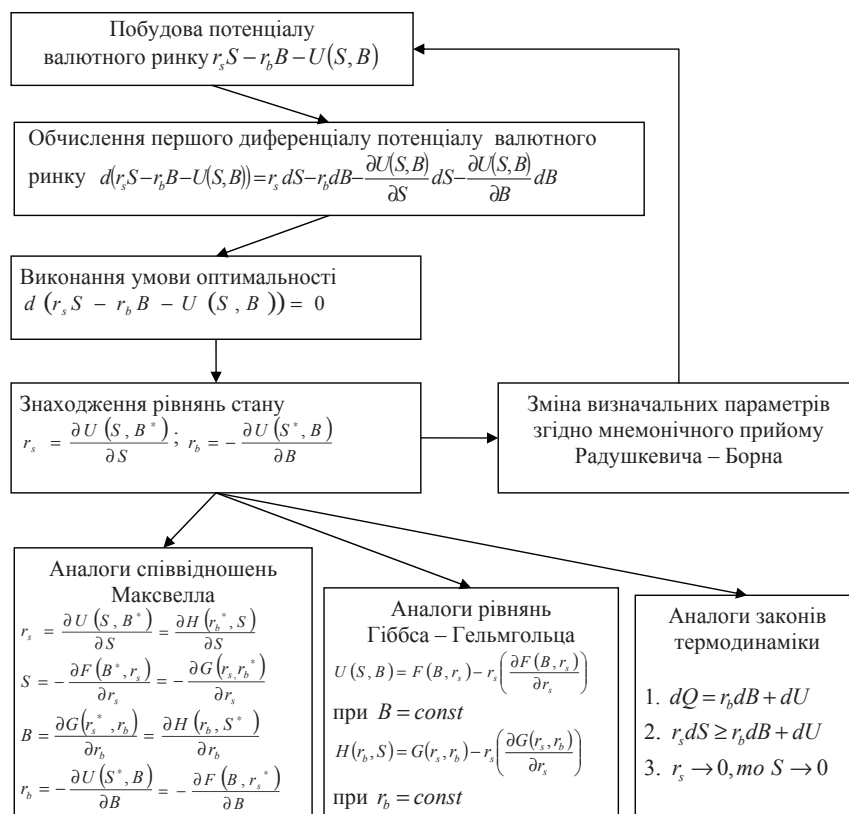


Рис. 2. Схема методу моделювання валютного ринку на основі термодинамічних потенціалів [17]

Використовуючи формули аналогів співвідношень Максвелла для фінансових процесів і рівність змішаних похідних функцій багатьох змінних, отримано співвідношення, яке моделює закономірність поведінки зміни ставки придбання ресурсів r_b щодо зміни ставки реалізації ресурсів r_s за сталого обсягу придбання ресурсів B , як тотожність, рівну зміні обсягу реалізації ресурсів S стосовно зміни обсягу придбання ресурсів B при сталій ставці реалізації ресурсів r_s .

У процесі аналізу результатів моделювання отримано аналоги законів термодинаміки для функціонування валютного ринку, на основі яких можна аналізувати динаміку валютного ринку, як результат взаємодії із зовнішнім середовищем. Встановлені на основі наукового аналізу та термодинамічного підходу закономірності є основою для формулювання законів динаміки валютного ринку.

Вплив зовнішнього середовища формує певні стійкі зв'язки, встановлюючи які, можна здійснювати прогноз та будувати стратегію, але у разі зміни середовища, ці зв'язки можуть порушуватися і через деякий час утворювати новий вид зв'язку. Тому для передбачення змін, а саме діагностування трансформаційних процесів валютного ринку, запропоновано застосовувати фрактальний аналіз [6].

Характерною властивістю нелінійної динаміки валютного ринку є властивість самоподібності і випадковий характер кількості елементів на кожен проміжок часу. Тому раціональною буде фрактальна модель його поведінки.

Одним із сучасних методів аналізу трансформаційних процесів валютного ринку, який характеризується фінансово-економічними рядами, є застосування методів оцінювання самоподібності (фрактальності). Існує кілька альтернативних підходів до оцінки фрактальності часового ряду: R/S аналіз; стандартний аналіз флуктуацій; аналіз детрендових флуктуацій (АДФ) другого порядку; мультифрактальний АДФ. Більш детально розглянемо метод R/S аналізу часових рядів, який запропонований Е. Петерсом і ґрунтується на дослідженнях, проведених англійським дослідником Х. Херстом. В основі цього методу нова статистика – показник Херста [2; 11], що ґрунтується на аналізі розмаху параметра та середньоквадратичного відхилення. Завдяки своїй стійкості цей показник має широке застосування в аналізі часових рядів. Для його обчислення необхідні мінімальні припущення щодо системи, яка вивчається, та на його основі можна класифікувати часові ряди за типом і глибиною пам'яті.

Показник ідентифікує випадковість чи не випадковість ряду навіть якщо випадковий ряд має негаусовий розподіл. Для калібрування часових вимірювань X . Херст ввів безрозмірний коефіцієнт шляхом ділення розмаху на стандартне відхилення спостережень. Цей метод ще називають методом нормованого розмаху. Х. Херст показав, що більшість явищ – це тренд із шумом. Рівень шуму та сила тренду можуть бути оцінені зміною нормованого розмаху з часом [2].

Завдяки працям Ф. Модільяні, М. Міллера, Г. Марковіца [18], У. Шарпа [19] довгий час домінувала гіпотеза про стохастичну природу ринкових процесів. Незважаючи на успіхи стохастичних теорій, не всі явища на фінансовому ринку ними пояснюються. Особливо це стосується передкризових та кризових явищ, тобто нестабільних.

Б. Мандельброт та Е. Петерс обґрунтували фрактальну природу фінансових ринків і розробили основи фрактального аналізу. Фрактальність передбачає наявність властивостей, які дозволяють оцінити тенденцію часового ряду, зокрема, наявність пам'яті. Для оцінки динаміки фінансового ринку використовують стандартне відхилення, якщо процес розглядають як випадковий, або показник Херста, якщо процес – хаотичний. Як міра нелінійності руху, за допомогою показника Херста, встановлюється фрактальна розмірність, яка діагностує характер динаміки, тобто показує її трендовість (близькість до лінійної) чи реверсність (ламаність) (рис. 3, [6; 11]).

Отже, фрактальний аналіз дозволяє діагностувати тип динаміки та оцінити характер зміни поведінки як складових, так і валютного ринку загалом. Проте, якщо знайдена аномальна величина H , закономірне питання про обґрунтованість її оцінки. Можна піддати сумніву достатність даних, або взагалі метод R/S аналізу. Для розв'язання цього питання можна використовувати тест, запропонований у [2], що ґрунтується на розробленому Дж. А. Шейнкманом і Б. Ле Бароном тесті для кореляційної розмірності [8].

Оцінка H , яка значно відрізняється від 0,5, пояснює дві можливості: ряд, що вивчається, має довготривалу пам'ять, або такий аналіз неспроможний діагностувати й оцінити наявність ефекту довготривалої пам'яті.

Може виявитися, що недостатньо даних для тесту обґрунтування, але не існує чітких критеріїв того, скільки даних потрібно. Проте, досліджуваний у цьому випадку ряд, як ряд незалежних випадкових змінних, або містить у собі H , відмінне від 0,5, або є незалежним процесом із важкими хвостами.

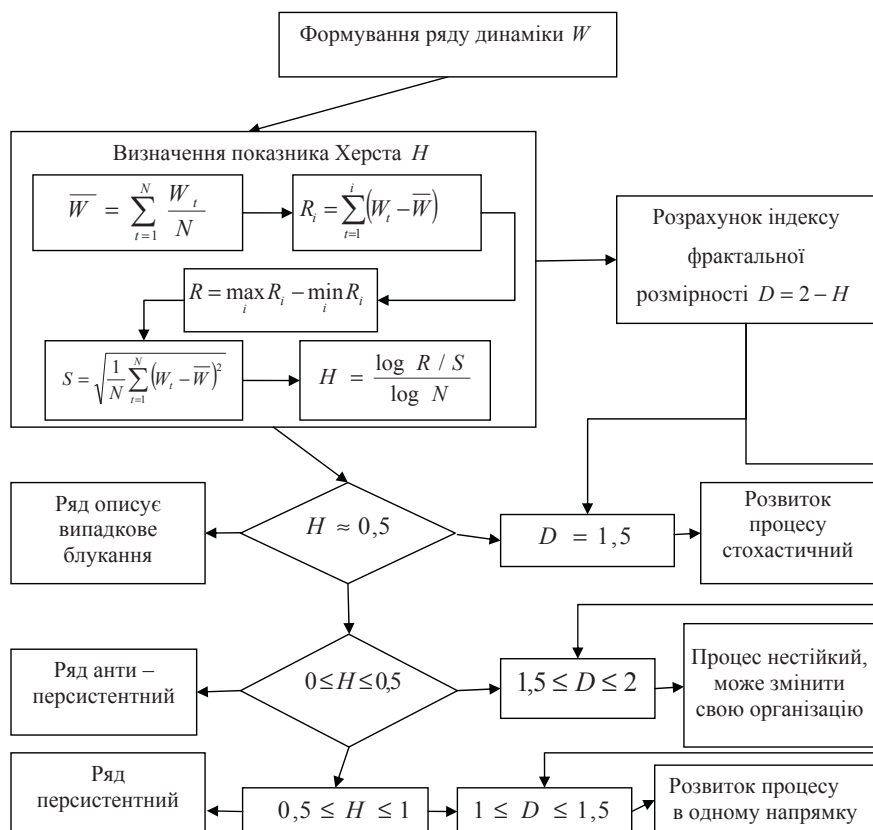


Рис. 3. Узагальнена схема фрактального аналізу на основі показника Херста

Примітка. Побудовано автором на основі [2; 11].

Обґрунтованість результатів можна перевірити шляхом випадкового перемішування даних, унаслідок чого порядок спостережень стане повністю відмінним від початкового ряду. Оскільки, спостереження залишаються тими ж, їхній частковий розподіл також залишиться незмінним. Тоді необхідно обчислити показник Херста цих перемішаних даних. Якщо ряд незалежний, то показник Херста не зміниться, оскільки відсутній ефект довготривалої пам'яті, тобто кореляції між спостереженнями. В цьому випадку перемішування даних не впливає на їхні якісні характеристики.

Якщо ряд має ефект довготривалої пам'яті, тоді порядок даних є важливим. Змішування даних руйнує структуру системи. Оцінка H при цьому виявиться значно нижчою і наближатиметься до 0,5, навіть якщо частотний розподіл спостережень не зміниться. Це доводить твердження Мандельброта про те, що R/S аналіз працює безвідносно до розподілу часового ряду, що є головною перевагою цього методу.

Необхідно зауважити, що R/S аналіз дає зміщені оцінки для статистики Херста, коли досліджуваний ряд містить короткотривалу пам'ять, нестационарний, або гетерогенний, тобто містить неоднорідну вибірку.

Проте, у цьому випадку працює модифікована версія R/S статистики, що є робастною, тобто стійкою, нечутливою до однорідностей у вибірці та короткотривалій пам'яті.

Дослідження як валютних, так і фондових ринків доводять, що розподіл змін цін є фрактальним розподілом Парето, який статистично самоподібний щодо часу [2; 6]. Окрім того, емпірично встановлено, що фінансово-економічні системи є нелінійними динамічними системами, що створює можливості їх дослідження та процесів, які в них відбуваються, методами теорії динамічних систем та детермінованого хаосу. На цій основі є коректним оцінювання фрактальних розмірностей атракторів фінансових систем, зокрема і валютного ринку, що можуть виступати як міра передбачуваності поведінки системи (часового горизонту).

Висновки. Отже, для оцінки динаміки фінансово-економічних систем та ефективного управління ними, необхідно мати інформацію про поведінку елементів цієї системи, структуру та її зміни, взаємодію із зовнішнім середовищем. Проблема вибору методів аналізу існувала завжди. Кожен намагався вибудувати стратегію відповідно до поточної ситуації, але універсального методу так і не знайдено. Можливо,

проблема не в методі, а в розумінні процесу. Саме до такої думки прийшли Білл Вільямс, Бенуа Мандельброт та Едгард Петерс, запропонувавши теорію хаосу й її основні інструменти. Саме таку думку розвиває автор, і зміщує акцент із методів на процеси, та пропонує залежно від суті процесу використання неокласичних та еволюційних підходів, зокрема, їхню гібридизацію.

З огляду на особливості трансформаційних процесів валютного ринку та можливості їхнього вивчення засобами моделювання, запропоновано інтегрування неокласичного та еволюційного підходів, зокрема, використовувати метод термодинамічних потенціалів для врахування

взаємодії із зовнішнім середовищем та фрактальний аналіз для діагностування типу динаміки та способу організації процесу, оскільки, термодинаміка дозволяє встановлювати стійкі зв'язки, а фрактальний аналіз виявляти можливості їхніх змін.

На основі поєднання термодинаміки та фрактального аналізу є можливість аналізувати більш складні фінансово-економічні процеси, а результати отримувати точніші. Поєднання підходів робить методіку більш гнучкою, чуттєвою до мінливості процесів, складності характеру динаміки і дає можливість комплексної оцінки динаміки валютного ринку з урахуванням трансформаційних змін та зовнішніх впливів.

Список використаних джерел

1. Економічні та фінансові показники України [Електронний ресурс] // Статистика. – Режим доступу : https://bank.gov.ua/control/uk/publish/article?art_id=34661442.
2. Дербенцев В. Д. Синергетичні та еконофізичні методи дослідження динамічних та структурних характеристик економічних систем : монографія / В. Д. Дербенцев, О. А. Сердюк, В. М. Соловйов, О. Д. Шарапов. – Черкаси : Брама-Україна, 2010. – 287 с.
3. Хакен Г. Синергетика : пер. с англ. / Г. Хакен. – Москва : Мир, 1980. – 406 с.
4. Пригожин И. Порядок из хаоса: новый диалог человека с природой / И. Пригожин, И. Стенгерс. – Москва, 1986.
5. Mandelbrot B. Statistical Methodology for Non-Periodic Cycles: From the Covariance to R/S Analysis / B. Mandelbrot // Annals of Economic Social Measurement. – 1972. – V. 1.
6. Brock W. A., Sayers C. L. Is the business cycle characterized by deterministic chaos/ W. A. Brock, C. L. Sayers // Journal of Monetary Economics. – 1988. – Vol. 22. – P. 71–79.
7. Sheinkman J., LeBaron B. Non-linear dynamic and stock returns / J. Sheinkman, B. LeBaron // Journal of Business. – 1989. – Vol. 62. – P. 311–327.
8. Frank M., Stengos T. Chaotic dynamics in economic time series/ M. Frank, T. Stengos // Journal of Economic Surveys. – 1988. – Vol. 2. – P. 103–133.
9. Grassberger P., Prococcia I. Measuring the strangeness of strange attractors / P. Grassberger, I. Prococcia // Physica. – 1983. – Vol. 9. – P. 189–208.
10. Петерс Э. Хаос и порядок на рынках капитала. Новый аналитический взгляд на циклы, цены и изменчивость рынка / Э. Петерс : пер. с англ. – Москва : Мир, 2000. – С. 333.
11. Занг В. Б. Синергетическая экономика: Время и перемены в нелинейной экономической теории / В. Б. Занг : пер. с англ. – Москва : Мир, 1999.
12. Коханенко И. К. Фрактальная топология и динамика экономических систем / И. К. Коханенко // Экономика и математические методы. – 2007. – Вып. 1. – Т. 43. – С. 87–96.
13. Вітлінський В. В. Ризик у менеджменті / В. В. Вітлінський, С. І. Наконечний. – Київ : ТОВ «Борисфен-М», 1996. – 336 с.
14. Шумпетер И. Теория экономического развития / И. Шумпетер. – Москва: Прогресс, 1982. – 454 с.
15. Гражевська Н. І. Економічні системи епохи глобальних змін : монографія / Н. І. Гражевська. – Київ : «Знання», 2008. – 431 с.
16. Квасній М. М. Аналіз та термодинамічне моделювання динаміки ринку валют / М. М. Квасній // Вісник Університету банківської справи Національного банку України (м. Київ). – 2012. – № 1 (13). – С. 245–248.
17. Markowitz H. M. Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investments / H. M. Markowitz. – New York : John Wiley, 1959.
18. Sharp W. F. Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium Under Conditions of Risk / W. F. Sharp // Journal of Finance. – 1964. – Vol. 19. – № 3 (September). – P. 425–442.