# ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ІНДИКАТОРІВ-ПЕРЕДВІСНИКІВ КРИЗОВИХ ЯВИЩ НА ОСНОВІ МАСШТАБНО-ЗАЛЕЖНОГО ПОКАЗНИКА ЛЯПУНОВА

В.М.Соловйов, І.О.Стратійчук
м. Черкаси, Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницького

**Анотація.** Розглянуто особливості побудови та застосування індикаторів-передвісників кризових явищ на основі масштабно-залежного показника Ляпунова (МЗПЛ). Показано переваги та недоліки використання різних часових рядів для побудови індикаторів-передвісників. Проілюстровано результати передбачення відомих криз для індексу Dow Jones Industrial Average (DJIA).
**Ключові слова:** кризові явища, індикатори-передвісники, нестаціонарні часові ряди, хаос-динамічні системи, масштабно-залежні показники Ляпунова.

**Постановка проблеми.** Сучасний світовий фінансово-економічний ринок значно ускладнився, основною причиною такого процесу є постійне збільшення учасників та різноманіття взаємодії між ними. У зв'язку з появою нових характеристик такої динамічної системи, виникають і нові прояви складності, які необхідно досліджувати та аналізувати. Топологічні особливості таких систем проявляються на різних масштабах, що значно ускладнює можливість передбачення та моделювання їх динаміки.

Вищезазначене пояснює причини недієвості класичних методик передбачення кризових явищ та необхідність пошуку нових підходів до побудови індикаторів-передвісників кризових явищ у складних системах.

Один із сучасних методів побудови індикаторів-передвісників, що дозволяє подолати зазначені проблеми, базується на масштабно-залежному показникові Ляпунова.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Значна увага в сучасній науці приділяється проблемам прогнозування та передбачення, топології фінансово-економічних криз загалом.

Відомі фундаментальні роботи у цьому напрямку Сорнетте Д., Бокса Дж., Дженкінса Г., Борланд Л., Кругмана П., Сороса Дж. та інших [1-5]. Ними розроблено фундаментальні, теоретико-методологічні засади дослідження та моделювання кризових явищ у складних системах. Серед недавніх досягнень слід звернути увагу на роботи [6-14], в яких основна увага приділяється розробці, адаптації та практичному застосуванню конкретних індикаторів-передвісників до конкретних фінансових ринків.

Не зважаючи на значні здобутки сучасної наукової думки, питання передбачення фінансових криз залишається відкритим.

**Постановка завдання.** На основі викладеного можна сформулювати завдання дослідження, яке полягає у визначенні особливостей побудови та застосування індикаторів-передвісників кризових явищ на основі МЗПЛ. Перевірка дієвості методики проводилась на часових рядах, які містять відомі зафіксовані кризи за даними індексу DJIA [15].

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Світова фінансово-економічна система після кожної кризи ускладнюється, це зумовлює необхідність пошуку закономірностей її прояву на різних масштабах. Індикатори на основі МЗПЛ дозволяють знаходити такі закономірності в динаміці і попереджувати кризи.

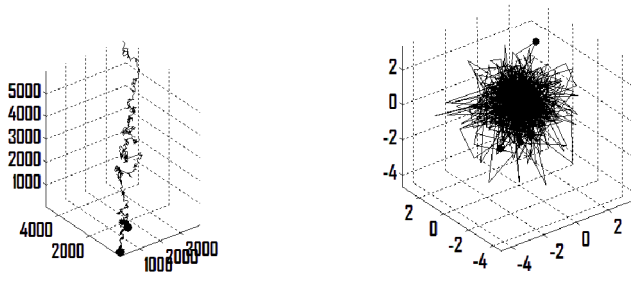
МЗПЛ визначається у фазовому просторі шляхом розгляду ансамблю траєкторій. Позначимо початкову відстань між двома сусідніми траєкторіями $\varepsilon_0$, а середню відстань між проміжками часу $t$ і $t+\Delta t$ через $\varepsilon_t$ і $\varepsilon_{t+\Delta t}$ відповідно. МЗПЛ $\lambda(\varepsilon_t)$ визначається з рівняння $\varepsilon_{t+\Delta t} = \varepsilon_t \exp(\lambda(\varepsilon_t)\Delta t)$. Еквівалентно маємо рівняння для $\varepsilon_t$: $d\varepsilon / dt = \lambda(\varepsilon_t)\varepsilon_t$. Для розрахунку МЗПЛ починаємо з довільно обраного числа оболонок $\varepsilon_k \le \left\| V_i - V_j \right\| \le \varepsilon_k + \Delta\varepsilon_k$, $k = 1,2,3,...$, де $V_i$, $V_j$ - реконструйовані вектори, $\varepsilon_k$ (радіус оболонки) і $\Delta\varepsilon_k$ (ширина оболонки) є довільно вибраними малими відстанями. Далі відслідковується еволюція всіх пар точок $(V_i, V_j)$ для даної оболонки і знаходиться середнє значення. Більш детально процедура розрахун-

ку описана в [9, 10].

Аналіз часових рядів різних типів дозволив нам ввести три міри складності. Дві з них стосуються інтервалів змін величин $\varepsilon$ і $\lambda$, а третя – інтегральна міра, яка розраховується за формулою: $\ln \varepsilon_t = \ln \varepsilon_0 + \int_0^t \lambda(\varepsilon_t) dt$ .

У даній роботі ми протестуємо дієвість вказаних вище мір складності $\Delta\lambda = \lambda_{\max} - \lambda_{\min}$, $\Delta\varepsilon = \varepsilon_{\max} - \varepsilon_{\min}$, $Int.Compl = \ln \varepsilon_t$ для стаціонарних та нестаціонарних часових рядів. Під нестаціонарним рядом розуміємо динамічний ряд цін закриття фондового індексу, під стаціонарним – часовий ряд його прибутковостей.

Щоб зрозуміти топологію складності динамічної системи та можливість використання індикаторів-передвісників розглянемо на рис. 1 фазові портрети нестаціонарного і стаціонарного часових рядів. Розрахунки проведено для часового ряду DJIA за всю історію (з 1896 по 2013 рік).




a) b)

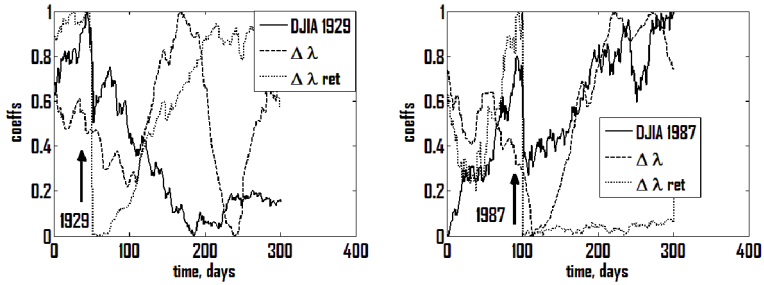
Рис. 1. Фазові портрети для індексу DJIA з лагом 50, (a) вихідного часового ряду, (b) для нормалізованих прибутковостей, Джерело: розраховано авторами за даними [15]

З рис. 1 видно, що у випадку 1a виражене притягування до певних точок, у випадку 1b таке чітко виражене протягування зникає. Різна топологія фазових просторів, для яких будуються міри складності за методикою МЗПЛ, зумовлює і різну поведінку самих мір складності. Порівняємо їх ефективність на прикладі відомих криз, які проявились через помітні падіння фон-

дових ринків, зокрема індексу «блакитних фішок» ринку США - DJIA.

Статичні характеристики не дають змоги відслідковувати динамічні зміни, тому використаємо віконну процедуру розрахунку. В цьому випадку міри складності розраховуються для підряду заданої довжини, після чого вікно зміщується («ковзає») у додатному напряму і процедура повторюється до вичерпання значень часового ряду. Для зручності та спрощення аналізу дієвості відповідних мір складності порівняємо їх з відповідною динамікою вихідного часового ряду.

На рис. 2 зображені результати розрахунків для криз DJIA 1929 та 1987 років, довжина кризових рядів – 2500 торгових днів, вікно – 1000 точок, крок – 5.



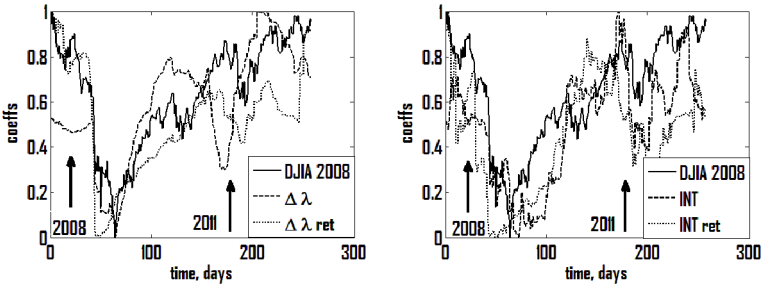

a) b)

Рис. 2. Віконна динаміка індикаторів-передвісників на основі МЗПЛ для кризи DJIA 1929 (a) та 1987 років (b). Стрілками вказані початки криз, ret – показники розраховані для прибутковостей**.** Джерело: розраховано авторами за даними [15]

Як бачимо на рис. 2a, індикатор побудований для часового ряду не дає чітких сигналів щодо настання кризи, а індикатор побудований для прибутковостей чітко сигналізує про настання кризи. На рис. 2b індикатор на основі прибутковостей є випереджуючим, а розрахований для часового ряду дає хибні сигнали. Подібним чином поводять себе й індикатори на основі інших мір МЗПЛ.

Отже, варто використовувати для побудови індикаторів-передвісників кризових явищ прибутковості, а не вихідний ряд, саме такий підхід дозволяє завчасно попереджувати настання різких змін у системі.

Фінансово-економічну кризу 2008-го року та її другу хвилю у 2011-му році називають структурними. Використаємо наші індикатори для перевірки можливості передбачення цих криз (рис. 3).




a) b)

Рис. 3. Віконна динаміка $\Delta\lambda$ (a) та інтегрального показника (b) під час криз 2008-го та 2011-го років. Стрілками вказані початки криз, ret – показники розраховані для прибутковостей. Джерело: розраховано авторами за даними [15]

З рисунків 3a та 3b чітко видно, що індикатори побудовані для прибутковостей є випереджувальними і сигналізують про настання кризи за декілька торгових днів, індикатор для вихідного нестаціонарного ряду не дає таких результатів. Можемо зробити висновок, що вищезазначені індикатори, обраховані для прибутковостей, дають випереджуючі сигнали незалежно від структури кризи.

**Висновки з проведеного дослідження.** В рамках дослідження було проілюстровано прогностичні можливості індикаторів-передвісників на основі МЗПЛ. Показано особливості використання індикаторів для стаціонарного та нестаціонарного часових рядів. Визначено переваги використання прибутковостей для покращення прогностичних можливостей методики.

Дієвість індикаторів перевірена на відомих кризах DJIA з 1907 по 2013 рік, що дає підстави констатувати необхідність їх використання у різних системах підтримки прийняття рішень та прогностичних системах.

У подальшому планується досліджувати фрактальність складних фінансово-економічних систем через призму мультимасштабної інваріантності на основі МЗПЛ. Не виключено,

що такий підхід дозволить ранжувати вхідні дані за складністю та оцінювати можливу прогностичну силу для часових рядів.

Список використаної літератури:

1. Сорнетте Д. Как предсказывать крахи финансовых рынков : критические события в комплексных финансовых системах / Д. Сорнетте. – М. : Интернет-трейдинг. 2003. – 400 с.
2. Бокс Дж. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. / Бокс Дж., Дженкинс Г. – М.: Мир, вып. 1, вып.2. – 1974. – 604 с.
3. Borland L. Long-range memory and nonextensivity in financial markets / L.Borland // Econophysics news. – 2005. – V.36. – № 6. – P. 228-231.
4. Krugman P. The Return of Depression Economics and the Crisis of 2008 / P. Krugman. – NY: W. W. Norton & Company – 2008. – 224 p.
5. Soros G. The New Paradigm for Financial Markets : The Credit Crisis of 2008 and What It Means / G. Soros. – NY : Public Affairs, 2008. – 162 p.
6. Kaminsky G., Reinhart C. Financial Crises in Asia and Latin America: Then and Now // AEA Papers and Proceedings. – 1998.-№ 98. – P.224-236.
7. Kaminsky G. Leading Indicators of Currency Crises / G. Kaminsky, S.Lizondo and C. Reinhart // IMF Staff Papers. – 1998. – Vol. 45 (March). – P.1– 48.
8. Sachs J. Financial crises in emerging markets: The lesson from 1995 / Sachs J., Tornell A., Velasco A. // Brooking Papers on Economic Activity. – 1995. – V.1. – P. 147-198.
9. Gao J.B. Multiscale analysis of economic time series by scale-dependent Lyapunov exponent / J.B. Gao, J. Hu, W.W.Tung, Y. Zheng // Quantitative Finance. – 2011. – P.1-10.
10. Соловйов В.М. Використання масштабно-залежних показників Ляпунова для дослідження складності фінансово-економічних систем / В.М. Соловйов, І.О. Стратійчук // Науково-теоретичний журнал Хмельницького економічного університету: «Наука й економіка».– Хмельницький: ХЕУ. – 2012. – Т. 2, №4 (28) – С. 88-94.
11. Сердюк О.А. Передвісники критичних та кризових явищ в складних фінансово – економічних системах / Сердюк О.А.,

Соловйов В.М., Кононенко В.В. // Зб.наук.праць «Економіка: проблеми теорії і практики». – Дніпропетровськ: ДНУ, 2004. – Т. 5. – С.1304-1310.
12. Soloviev V. Financial time series prediction with the technology of complex Markov chains / V. Soloviev, V. Saptsin, D. Chabanenko // TTI Journal "Computer Modelling and New Technologies". – 2010. – V. 14. – №3. – P. 63-67.
13. Дербенцев В. Д. Передвісники критичних явищ у складних економічних системах / В. Д. Дербенцев, В. М. Соловйов, О. В Сердюк. // Новое в экономической кибернетике : сб. науч. ст.; под общ. ред. Ю. Г. Лысенко; Донецкий нац. ун-т // Моделирование нелинейной динамики экономических систем. – Донецк : ДонНУ. – 2005. – № 1. – С. 5-13.
14. Мезенцев О. М. Моделювання індикаторів-передвісників кризових явищ на валютному ринку / О. М. Мезенцев // Економіка : проблеми теорії та практики : зб. наук. праць. – Дніпропетровськ : ДНУ. – 2009. – Т. 1., Вип. 252. – С. 22-33.
15. Джерело статистики світових фінансових інструментів [Електронний ресурс] – режим доступу: http://finance.yahoo.com

## ВИКОРИСТАННЯ ЕНТРОПІЇ ТСАЛЛІСА ДЛЯ ОЦІНКИ СКЛАДНОСТІ ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ

В.М. Соловйов, О.А. Сердюк
м Черкаси, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

### 1. Вступ

Останнім часом все частіше вчені з різних наукових напрямів звертаються до теорії складних систем [1-6]. У недавніх роботах нами були розглянуті деякі з кількісних мір складності – алгоритмічні [7], фрактальні [8], рекурентні [9], хаос-динамічні [10] – та була продемонстрована можливість їх використання для моніторингу і попередження критичних явищ на фінансових ринках.

Подана робота продовжує серію робіт, де було проведено