

## ФІНАНСОВА БЕЗПЕКА БАНКІВ ЯК ОСНОВА СТІЙКОСТІ ЕКОНОМІЧНОЇ СИСТЕМИ

*Остання світова фінансово-економічна криза показала неефективність діючої парадигми. Актуальним постав процес розробки мережної парадигми та трансформації методів дослідження складних систем для вивчення економічних процесів. На часі розробка новітніх кількісних методів, котрі описують топологічні особливості між елементами, їх використання для моніторингу та передбачення несприятливих явищ, як основи для забезпечення фінансової безпеки та стійкості системи. У роботі використано потужний еконофізичний метод – теорію випадкових матриць, котра при поєднанні з мережними топологічними мірами центральності є прогресивним інструментом дослідження складних корельованих систем.*

**Ключові слова:** фінансова безпека, складні системи, ранжування, центральність, кореляційні зв'язки, банківська мережа.

V. Soloviov, O. Lukianchuk

## BANK FINANCIAL SECURITY AS THE BASIS OF ECONOMIC STABILITY

*The last global financial and economic crisis has shown the inefficiency of the current paradigm. The process of developing a network paradigm and transforming the research methods of complex systems for the study of economic processes has become urgent. The development of advanced quantitative methods, which describe topological features of the elements, their use for monitoring and predicting unfavourable events as a basis for financial security and stability of the system is important nowadays. The powerful econophysics method – the random matrix theory, which when combined with network topological measures of centrality is a progressive research instrument of complex correlated systems, is used in the paper.*

**Keywords:** financial security, complex systems, ranking, centrality, correlation, banking network.

**Вступ.** Світова фінансово-економічна криза 2007-2009 рр. посприяла зосередженню уваги дослідників на проблемі необхідності аналізу системних ризиків у складних фінансових, зокрема, банківських мережах. Одним з важливих завдань банківської системи є забезпечення її стійкості та надійності, головну увагу при цьому зосереджують на собі питання безпеки банку загалом та фінансової безпеки зокрема.

На думку О. І. Барановського, фінансова безпека банку – це стан захищеності фінансових інтересів комерційного банку, його фінансової стійкості, а також середовища, в якому він функціонує [1, с. 13].

З огляду на нестабільність сучасної економічної системи, можливість настання чергової хвилі кризи, питання фінансової безпеки банківської системи є надзвичайно актуальним. Нагадаємо, що активна фаза глобальної кризи почалася у 2007 році з краху ряду потужних американських фінансових установ. В умовах посилення глобалізаційних та інтеграційних процесів, широкого впровадження нових інформаційних технологій взаємозалежність фінансових установ стрімко зростає, перетворюючи їх в складну мережу зв'язаних між собою фінансових агентів.

Саме тому вивчення архітектури економічних і фінансових мереж набуває дедалі більшого значення. Дійсно, фінансово-економічна криза показала, що банківську систему доцільно розглядати як складну мережу, вузлами якої є банки, а зв'язками виступають фінансові [2] чи кореляційні залежності між елементами. Одним з ключових питань стосовно банківських мереж залишається ранжування банків за їх "системною значущістю" – визначення найбільш важливих елементів системи, крах яких спричинить кризу банківської та фінансової системи в цілому.

З огляду на властивості мережі, це питання пов'язане з поняттям рекурсивних мір центральності, зокрема, таких як вектор центральності і відомий з досліджень глобальної Інтернет мережі ранговий показник PageRank.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для забезпечення фінансової безпеки банкам необхідна певна система, що дозволяє на постійній основі здійснювати діагностичні та превентивні дії, спрямовані на підтримку належного рівня фінансової безпеки.

Проблеми забезпечення фінансової безпеки на рівні банків досліджували такі вчені, як С. І. Адамєнко, О. І. Барановський, І. А. Бланк, О. Ф. Ба-

лацький, А. О. Епіфанов, М. М. Єрмошенко, Г. П. Іванова, Г. О. Крамаренко, Е. М. Коротков, Л. О. Лігоненко, Б. А. Райзберг, О. О. Терещенко, С. Я. Салига, О. Й. Шевцова та ін. Високо оцінюючи їх вклад у вирішення проблем забезпечення фінансової безпеки на різних рівнях, відзначимо, що питання фінансової безпеки банків все ще залишаються недостатньо вивченими. Зокрема, це стосується досліджень цілого ряду специфічних ризиків у діяльності банків, процесу проведення діагностики та оцінки рівня фінансової безпеки банків, а також застосування фінансового інструментарію для моніторингу, попередження та подолання кризових явищ.

В останнє десятиліття значний прогрес на шляху до розуміння структури та функціонування складних мереж було здійснено в галузі статистичної механіки та аналізу соціальних мереж. Було розроблено велику кількість показників ранжування. Розглянемо ті з них, які пов'язані з мірами центральності (centrality). Найчастіше використовуються такі міри центральності: центральність ступеня вершини (Degree), близькості (Closeness) та середняцтва (Betweenness) [3]; також часто використовують різні варіації вектор-центральності (Eigenvector centrality) [4, 5]. Відомим алгоритмом вектор-центральності є алгоритм PageRank Google [6], який додає випадкові стрибки імовірностей "обірваних" (dangling) вузлів, і таким чином, дозволяє використовувати цю міру для всіх типів мереж. Міри PageRank і Eigenvector centrality можна розглядати як частку часу, проведеного на відвідування кожного вузла при нескінченному випадковому блуканні мережею.

Недостатня кількість статистичних даних про фінансові потоки в середині мережі через обмеження до їх доступу та конфіденційність стримує подібні дослідження, обмеживши їх лише аналізом декількох національних баз даних [7].

**Мета статті** – дослідження адаптації зазначених мір центральності складних банківських мереж на основі методів кореляційного ранжування при використанні, наприклад, цін на акції банків, що дасть змогу для впровадження мір, як індикаторів фінансової стійкості системи.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Як відомо, методика кореляційного ранжування заснована на кореляційних відносинах елементів у побудованій мережі [8].

Для кількісного визначення кореляцій спочатку обчислюється зміна цін (прибутковості) акції  $i=1, \dots, N$  за час  $\Delta t$ :

$$G_i(t) = \ln S_i(t + \Delta t) - \ln S_i(t),$$

де  $S_i(t)$  позначає ціну акції  $i$ . Оскільки різні акції мають різні стандартні відхилення, визначимо нормалізовану прибутковість:

$$g_i(t) \equiv \frac{G_i(t) - \langle G_i \rangle}{\sigma_i},$$

де  $\sigma_i \equiv \sqrt{\langle G_i^2 \rangle - \langle G_i \rangle^2}$  – стандартне відхилення

$G_i$ , а  $\langle \dots \rangle$  позначає середнє значення за період часу, що досліджується. Тоді, згідно з теорією випадкових матриць, обчислення матриці взаємних кореляцій  $C$  зводиться до знаходження середнього значення коефіцієнтів кореляцій [9]:

$$C_{ij} \equiv \langle g_i(t) g_j(t) \rangle.$$

Для побудови і аналізу властивостей графу слід сформулювати з кореляційної матриці матрицю суміжності. Для цього потрібно ввести величину, яка для поля кореляцій слугуватиме відстанню між корелюваними агентами. Такою відстанню може слугувати залежна від коефіцієнта кореляції  $C_{ij}$  величина:

$$x(i, j) = \sqrt{2(1 - C_{ij})}$$

Так, якщо коефіцієнт кореляції між двома банками помітний, відстань між ними є малою, і, починаючи з деякої критичної величини  $x_{cr}$ , банки можна вважати зв'язаними на графі. Для матриці суміжності це означає, що вони є суміжними на графі. В протилежному випадку банки не є суміжними. Наші дослідження показали, що оптимальним при розрахунках є значення порогового критерію рівне,  $x_{cr} = 1,1$ .

PageRank – це система рейтингування, ранжування та визначення важливості елементів складних систем, яка залежить від числа зовнішніх зв'язків і від їх ваги.

Представимо, що ми рухаємося по щойно побудованому графіку, вузлами якого є окремі банки. Нехай почнемо з елементу  $p$ , випадкове блукання при цьому знаходиться в стані  $p$ . На кожному кроці ми проходимо наступний вузол, який має тісні кореляційні зв'язки з попереднім. Імовірність випадкового стрибка позначимо як  $d$ , тоді імовірність переходу по ребру буде  $1 - d$ . Таким чином, імовірність знаходження в даний момент на вершині  $p$  можна обчислити за формулою:

$$R_{j+1}(p) = d + (1-d) \sum_{i=1}^k R_j(p_j) / C(p_j),$$

де  $R(p)$  – значення міри PageRank елемента системи,  $C(p_j)$  – кількість зв'язків між елементами (ребра графа),  $k$  – кількість зв'язків з елементом  $p$  в системі,  $d$  – коефіцієнт згасання (damping factor), що відображає частку ваги, яку може передати елемент, з якого виходить зв'язок, на елемент, який його приймає. Зазвичай,  $d = 0,85$ , це означає, що елемент може передати 85% своєї ваги.

Якщо нормувати PageRank таким чином, що:

$$\sum_{i=1}^N R(p_j) = 1,$$



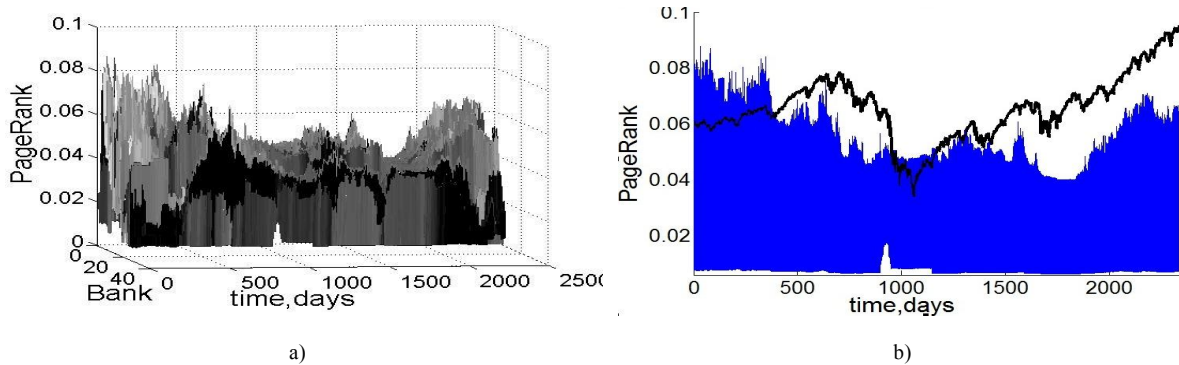


Рис. 2. Динаміка міри PageRank для банківської системи: а) поверхня розрахунку міри для всієї сукупності банків; б) усереднене значення PageRank по всіх банках, що порівнюється з американським фондовим індексом S&P 500.

З рис. 2, легко спостерігати певні спади та підйоми в динаміці міри PageRank для кожного з вхідних елементів матриці на всіх поетапних кроках. Рис. 2b ілюструє поведінку усередненої міри сукупності банків під час криз та шоків у системі. Порівняно з усередненим значенням з часовим рядом для S&P 500 помітно, що введена міра знижується дещо раніше настання криз, а в періоди релаксації міра зростає. Це дає змогу використовувати її як адекватний індикатор-передвісник несприятливих станів системи.

Отже, у випадку осереднення всіх вхідних елементів створеної мережі, в динаміці було показано, що показник PageRank знижується дещо раніше настання кризових явищ на ринку. Одним з елементів дослідження є процес моніторингу кризових станів для певного елемента (банку). Прослідкуємо, як введена міра реагує на зміни в динаміці певного елемента з наведеної сукупності мір для відповідної матриці банків (рис. 3).

Розрахована віконна міра PageRank виконує функції моніторингу та попередження кризових явищ у системі, знижуючись дещо раніше їх настання, що дає змогу використовувати цей показник як індикатор-передвісник несприятливих явищ у системах такого типу. це дасть змогу забезпечити фінансову безпеку банку, а як наслідок – і його стійкість.

**Висновки.** Експериментальні дослідження показали універсальність та дієвість введеної міри кореляційного ранжування PageRank як для банківської системи в цілому, так і для будь-якого з вхідних банків. Показано, що така міра через зниження ідентифікує кризи в системі, що дає змогу для її використання як адекватного індикатора-передвісника несприятливих явищ в складних системах. Доцільно застосовувати цей індикатор як міру забезпечення фінансової безпеки і стійкості системи.

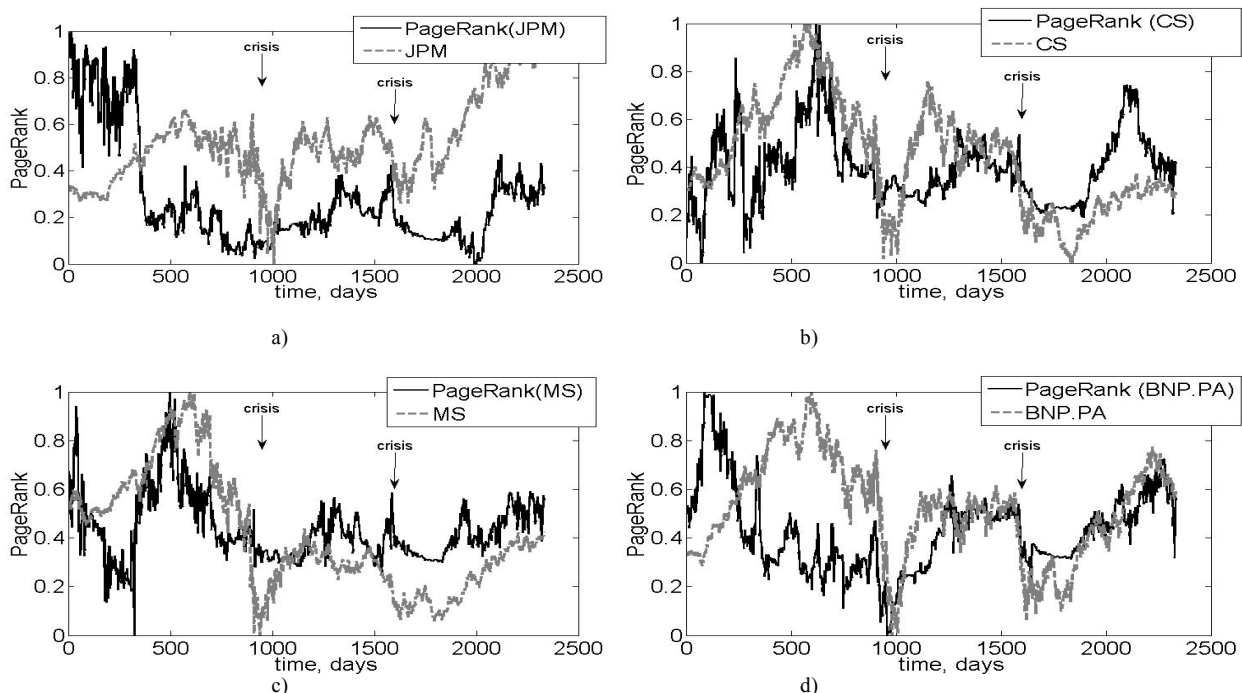


Рис. 3. Порівняльна динаміка міри PageRank з вхідною динамікою окремого банку (кризи 2008 та 2011 рр. вказано стрілками): а) JPMorgan Chase & Co (JPM); б) Credit Suisse (CS); в) Morgan Stanley (MS); д) BNP Paribas SA (BNP.PA).

У подальших дослідженнях планується розгляд та апробація інших мережних мір складності для забезпечення стійкості й надійності фінансово-економічних систем.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барановський О. І. Фінансова безпека : монографія / О. І. Барановський. – К. : Фенікс. – 1999. – 338 с.
2. Battiston S. DebtRank: Too central to fail? Financial networks, the FED and systemic risk / S. Battiston, M. Puliga, R. Kaushik, P. Tasca, G. Caldarelli // *Scientific Reports*. – 2012. – V. 2. – p. 541.
3. Freeman L. C. Centrality in social networks: I. Conceptual clarification // *Social Networks*. – 1979. – № 1. – P. 215-239.
4. Katz L. A new index derived from sociometric data analysis // *Psychometrika*. – 1953. – № 8. – P. 34-43.
5. Bonacich P. Power and centrality: A family of measures // *American Journal of Sociology*. – 1978. – № 92(5). – P. 1170-1182.
6. Page L. The PageRank Citation Ranking: Bringing Order to the Web / L. Page, S. Brin, R. Motwani, T. Winograd // *Stanford InfoLab*. – 1999 : [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ilpubs.stanford.edu:8090/422/>.
7. Cont R. Network structure and systemic risk in banking systems / R. Cont, A. Moussa, E. B. Santos // *SSRN W.P. series*. – 2010.
8. Лук'янчук О. С. Фолксономія соціально-економічних об'єктів в складних мережах засобами CorRank / О. С. Лук'янчук, В. М. Соловійов // Моделювання та інформаційні технології в економіці : монографія / [за заг. ред. Соловійова В. М.] – Черкаси : Брама-Україна, 2014. – С. 140-151.
9. Plerou V. Random matrix approach to cross correlations in financial data / V. Plerou, P. Gopikrishnan, B. Rosenow, L.A.N. Amaral, T. Guhr, H. E. Stanley // *Phys. Rev. E*. – 2002. – v.65. – N 12. – P. 356-373.
10. Джерело статистики індексів світового фондового ринку : [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://finance.yahoo.com>.
11. The Open Graph Viz Platform : [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://gephi.org/>.