

## НАУКОВИЙ АВТОРСЬКИЙ КОЛЕКТИВ

Miskinis A., doctor of social sciences (розділ 3.7); Вітлінський В.В., д.е.н., професор (розділи 2.2, 2.3); Діордіца С.Г., д.е.н., професор (розділ 1.4); Захарченко П.В., д.е.н., професор (розділ 1.5); Іванов М.М., д.е.н., професор (розділ 2.5); Кібальник Л.О., д.е.н., доцент (розділ 1.6); Курбанов К.Р., д.т.н., професор (розділ 3.5); Лакіс В.Ю., д.е.н., професор (розділ 3.6); Порохня В.М., д.т.н., д.е.н., професор (розділ 3.8); Рамазанов С.К., д.т.н., д.е.н., професор (розділ 1.7); Таушанжи К.П., д.е.н., доцент (розділ 3.9); Соловійов В.М., д.ф.-м.н., професор (розділи 1.1, 2.4); Тюфекчи Фередун, д.е.н. (розділ 3.9); Черняк О.І., д.е.н., професор (розділ 1.9)

Dzemydaite G., doctor of social sciences (розділ 3.1); Lauzadyte-Tutliene A., doctor of economics and management, associate professor (розділ 3.3); Paliulyte R., dr., associated professor (розділ 3.2); Rasteniene A., dr., associated professor (розділ 3.2); Баженова О.В., к.е.н., доцент (розділ 3.4); Бегун А.В., к.е.н., професор (розділ 2.1); Гострик О.М., к.е.н., доцент (розділ 1.2); Гриценко К.Г., к.т.н., доцент (розділ 1.3); Данильчук Г.Б., к.е.н. (розділ 2.4); Ігнатова Ю.В., к.е.н. (розділ 2.1); Кобець В.М., к.е.н., доцент (розділ 1.4); Меняйлова Г.Є., к.е.н., доцент (розділ 3.5); Осипова О.І., к.е.н. (розділ 2.1); Пушкар О.І., к.е.н. (розділ 3.5); Скіцько В.І., к.е.н., доцент (розділ 2.3); Соловійова В.В., к.е.н., доцент (розділ 1.2); Тішков Б.О., к.е.н., доцент (розділ 1.8); Шерстенников Ю.В., к.ф.-м.н., доцент (розділ 3.8)

Водолєєва І.Є. (розділ 1.1); Засядько О.А. (розділ 2.4); Котлярова Ю.О. (розділ 1.8); Кузьмич Н.В. (розділ 1.6); Лазаренко А.О. (розділ 1.1); Якимчук Б.Б. (розділ 1.9)

социалистического общества / Л.И. Абалкин. – М.: Мысль, 1973. – 263 с.

9. The Arda association of religion data archives [Електронний ресурс]. – режим доступу: <http://www.thearda.com/Archive/Files/Descriptions/TERR-NET.asp>.

## **1.2. МОДЕЛЮВАННЯ КРИЗОВИХ ЯВИЩ В СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМАХ МЕТОДАМИ МЕРЕЖНОГО АНАЛІЗУ**

Проведено порівняння результатів методами мережного аналізу для фондового та спотового ринків в кризові періоди. Отримані результати дають підстави стверджувати, що на відміну від фондових, товарні ринки практично некорельовані, що значно ускладнює прогнозування небажаних явищ.

**Ключові слова:** складні мережі, міра складності, топологічний аналіз, спектральний аналіз, фондовий ринок, спотовий ринок, криза.

**Постановка проблеми.** Наявність економічних криз та проблеми прогнозованості кризових явищ на сьогоднішній день є характерними та невід'ємними складовими функціонування будь-якої економічної системи. В умовах сьогодення досить актуальною є проблема створення ефективних методів аналізу та прогнозування динаміки складних систем. В цьому аспекті зростає наукова активність в області дискретної математики, значні можливості якої обумовлені теоретико-множинними, комбінаторними та топологічними характеристиками системи. І якщо у математиці такі структурні властивості вивчає теорія графів, то на міждисциплінарному рівні склався новий сучасний напрямок досліджень — теорія складних мереж (*complex networks*) [1, 2].

При дослідженні фундаментальних закономірностей економічних систем використовуються потужні методи аналізу нестационарних часових рядів. Елементи таких систем мають бінарні зв'язки, які можна представити у вигляді складної

мережі з нетривіальними топологічними властивостями. Топологічні характеристики дають можливість оцінити положення вершин у мережі (показники центральності та ієрархічності), та мережу в цілому (показники цілісності та зв'язності). Спектральний аналіз дозволяє отримати характеристики окремих об'єктів та всієї системи, що базуються на алгебраїчних інваріантах мережі — її спектрах. Дослідження динаміки топологічних та спектральних показників дозволяє розв'язувати численні та неоднорідні проблеми, що виникають при вивченні та прогнозуванні складних систем, і зазвичай не піддаються суто математичному описанню.

**Метою роботи** є дослідження фондового та спотового ринків засобами мережного аналізу, отримання та оцінка топологічних та спектральних мір складності мережі [3] в середовищі Matlab [4].

**Виклад основного матеріалу.** В роботі проведений аналіз модальних співвідношень об'єктів складних систем різної природи на основі отриманих топологічних та спектральних характеристик складних мереж, побудованих на базі часових рядів. Перетворення часових рядів у складні мережні відображення було здійснено методом, який враховує взаємну наближеність різних сегментів часової послідовності і використовує техніку рекурентного аналізу *CRP* [5, 6]. Даний метод дозволяє точно відтворити інформацію, що зберігається у часовому ряді, в альтернативній математичній структурі.

Розглянемо граф  $G$  складної мережі довільної природи. Для аналізу цієї мережі були отримані наступні топологічні характеристики:

- ступінь вершини (*degree*) — кількість ребер, інцидентних даній вершині — локальна характеристика, що обчислюється за формулою:

$$d = \frac{2E}{N},$$

де  $E$  — кількість ребер,  $N$  — кількість вершин;

- ступінь щільності (*closeness*) — відстань доступу до інших вершин мережі — локальна характеристика, що

обчислюється за формулою:

$$C = \frac{1}{\sum_{i \neq j} c_{ij}},$$

де  $c_{ij}$  — відстань від вершини  $i$  до вершини  $j$ ;

- коефіцієнт кластеризації (*clustering*) — кількість найближчих сусідів, які є також найближчими сусідами один для одного — локальна характеристика, що обчислюється за формулою:

$$C_i = \frac{2e}{k(k-1)},$$

де  $k$  — кількість сусідів,  $e$  — кількість ребер між ними. Коефіцієнт кластеризації є топологічною мірою, яка показує тенденцію мережі до поділу на групи (кластери);

- ексцентриситет вершини (*eccentricity*) — максимальна відстань від даної вершини  $u$  до будь-якої іншої вершини мережі — локальна характеристика, що обчислюється за формулою:

$$e(u) = \max_{v \in V(G)} d(u, v),$$

де  $d(u, v)$  — відстань між вершинами  $u$  і  $v$ ;

- діаметр (*diameter*) — максимум ексцентриситетів.

Окрім топологічних були отримані також деякі спектральні характеристики, які є інваріантами матриць суміжності та Лапласа відповідної мережі  $G$  :

- максимальне власне значення (*max lambda*) матриці суміжності  $A$  мережі  $G$

- алгебраїчна зв'язність (*algebraic connectivity, algConnect*) — найменше ненульове власне значення матриці Лапласа  $K$ , яке є мірою зв'язності мережі  $G$ ;

- енергія графу (*graph energy*) — сума абсолютних власних значень матриці суміжності  $A$  — глобальна характеристика, що обчислюється за формулою:

$$E(G) = \sum_{i=1}^n |\lambda_i|,$$

де  $\lambda_i$  — власні числа матриці суміжності  $A$  мережі  $G$ .

Зауважимо, що існує декілька альтернативних означень матриці суміжності даної мережі. В даному випадку під матрицею суміжності будемо розуміти квадратну матрицю  $A$  порядку  $n$ , у якій  $a_{ij} = k$ , якщо вершини  $v_i$  та  $v_j$  суміжні кратності  $k$  і  $a_{ij} = 0$ , якщо вони несуміжні.

Матриця Лапласа є одним з видів представлення мережі і пов'язана з матрицею суміжності співвідношенням:

$$K = D - A,$$

де  $D$  — діагональна матриця порядку  $n$ ,  $d_{ij} = \begin{cases} d_i, i = j, \\ 0, i \neq j. \end{cases}$

**Результати досліджень.** Для аналізу топологічних та спектральних властивостей фондового ринку в якості бази дослідження було обрано значення індексу S&P 500 за період 1982-2015 рр. (далі sp82) [8] та щоденні значення спотової ціни на бензин за період 2004-2015 рр. спотового ринку [7].

Отримані результати розрахунків топологічних та спектральних мір спровокували виникнення ряду запитань, оскільки вище зазначені міри, обчислені для мереж часових рядів валютних та фондових індексів, демонстрували кардинально іншу динаміку реакції на кризу в системі [3]. Отже, виникла необхідність проведення порівняльного аналізу мережних мір складності для фондового та спотового ринків.

Результати розрахунку топологічних та спектральних мір для фондового ринку представлено на рисунках 1,2.

Результати досліджень топологічних та спектральних характеристик мереж, відповідних спотовому ринку, зображено на рисунках 3,4.

Результати отримані для топологічних характеристик мереж свідчать про те, що для фондового індексу S&P 500 міри ступеня щільності та ступеня вершини перед кризою зростають (рис. 1а), а динаміка діаметра мережі (рис. 1б) є асиметричною до вище зазначених мір. Щодо діаметра мережі (рис. 1б), то цей показник перед кризою не спадає, як продемонстровано на рисунку 1б, а навпаки зростає.

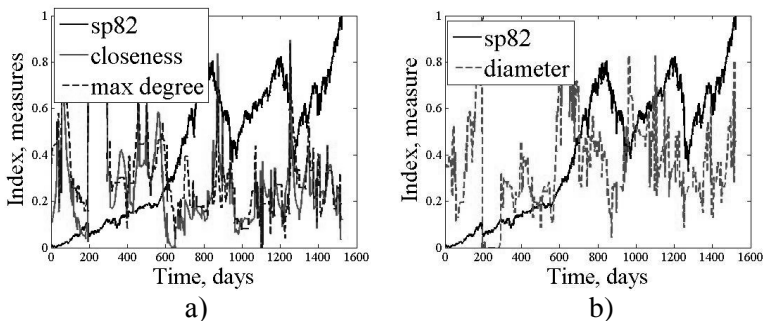


Рис. 1. Порівняльна динаміка фондового індексу S&P 500 з мірами степеня вершини та ступеня щільності (а) і діаметром мережі (б), розрахованих за методом *CRP*

Що стосується спектральних мір складності, то в передкризові періоди на фондовому ринку (рис. 2) алгебраїчна зв'язність, енергія графу та максимальне власне значення реагують значним сплеском значень, чого не відбувається на спотовому ринку (рис.4).

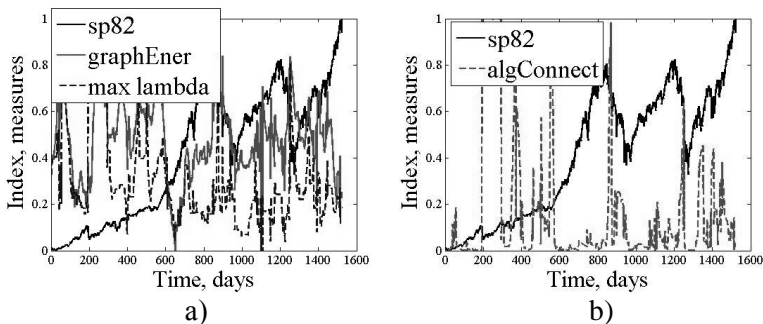


Рис. 2. Порівняльна динаміка фондового індексу S&P 500 з максимальним власним значенням та енергією графу (а) і мірою алгебраїчної зв'язності (б), розрахованих за методом *CRP*

На спотовому ринку (рис. 3а) спостерігається зовсім інша ситуація: міри степеня щільності та степеня вершини у кризовий період реагують зниженням значень.

Динаміка ступеня щільності та ступеня вершини на рисунках 3а) та 4а) свідчить, що у період кризового стану системи показники реагують зниженням значень.

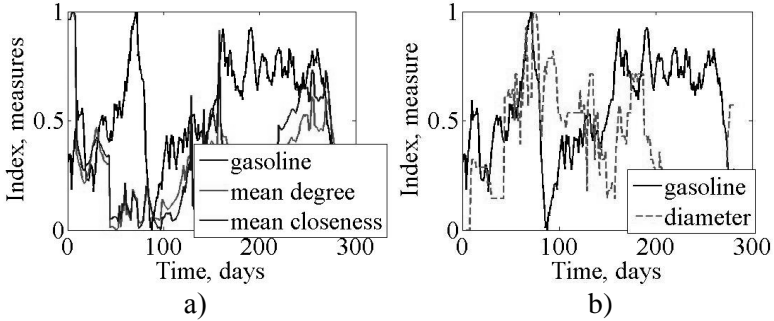


Рис.3. Порівняльна динаміка спотових цін на бензин (*gasoline*) з мірами ступені вершини та ступеня щільності (а) і мірою діаметр мережі (б), розрахованих за методом *CRP*

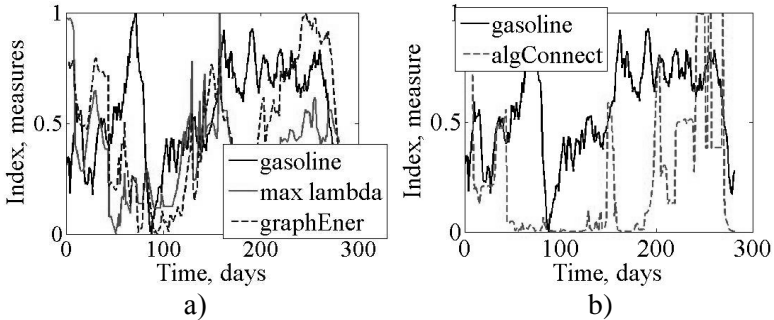


Рис. 4. Порівняльна динаміка спотових цін на бензин з максимальним власним значенням та енергією графу (а) і мірою алгебраїчної зв'язності (б), розрахованих за методом *CRP*

Рисунки 3б) та 4б) демонструють, що діаметр мережі має асиметричну поведінку відносно ступеня вершини та ступеня щільності. Варто зазначити, що динаміка ексцентриситету вершини та коефіцієнта кластеризації є аналогічною до динаміки діаметра мережі, що обумовлено означеннями цих

характеристик.

Аналогічно проводились дослідження і для інших сегментів товарного ринку, а саме: метали: нікель, олово, цинк та ін. Динаміка мережних мір складності виявилася такою ж, як і в випадку досліджень бензину.

**Висновки.** Отже, результати досліджень мережних мір складності свідчать про те, що раніше виявлені закономірності динаміки спектральних та топологічних мір на фондових та валютних ринках не традиційно проявляються на спотових ринках. Що, в свою чергу, свідчить про відсутність або слабкість кореляційних процесів в кризові періоди на товарних ринках.

Таким чином, кореляційні співвідношення можуть бути корисними при прогнозуванні поведінки системи в кризові періоди, проте вони не є ринковими законами. Покладаючись на кореляційні процеси, необхідно розуміти, що вони можуть змінюватися чи зовсім зникати в періоди високої волатильності.

В перспективі передбачається подальше дослідження процесів кореляції та синхронізації на спотовому ринку, а також виявлення стійких закономірностей з урахуванням значень мережних мір складності, які дозволять передбачити кризові явища.

#### **Список використаних джерел:**

1. Barrat A. Dynamical processes on complex networks Barrat A., Barthelemy M., Vespignani A. // Cambridge University Press, 2008. – 347 p.
2. Newman M. The Structure and Dynamics of Networks / Newman M., Watts D., Barabasi A.-L. // Princeton University Press, 2006. – 456 p.
3. Соловйова В.В. Динаміка мережених мір складності в умовах фінансових криз. // Соловйова В.В. Збірник наукових праць. Випуск №3 (18). «Вісник УБС НБУ (м. Київ). - 2013. – С. 276 – 280.
4. Matlab Tools for Network Analysis // [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://strategic.mit.edu/downloads.php?page=matlab\\_networks](http://strategic.mit.edu/downloads.php?page=matlab_networks)



5. Соловійов В.М. Рекурентні міри як метод кількісної оцінки складності / В.М.Соловійов, А.В.Батир // Вісник КНУТД, 2012, №5, с.254-257.
6. Donner R. V. Recurrence-based time series analysis by means of complex network methods [Electronic resource] / R. V. Donner, M. Small, J. F. Donges, N. Marwan et. al. – Available from: arXiv:1010.6032v1 [nlin.CD] 25 Oct 2010
7. Джерело статистики цін спотового ринку [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.finam.ru>.
8. Джерело статистики індексів світового фондового ринку [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://finance.yahoo.com>.
9. Соловійов В.М. Моделювання складних систем / В.М.Соловійов, О.А.Сердюк, Г.Б.Данильчук // Навчально-методичний посібник для самостійного вивчення дисципліни. – Черкаси : Видавець О. Ю. Вовчок, 2016. – 204 с.

### **1.3. МЕТОД МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ РОЗВИТКУ СТРАХОВИХ КОМПАНІЙ НА ОСНОВІ ДИНАМІЧНОГО АНАЛІЗУ ПАТЕРНІВ**

**Постановка проблеми.** Вітчизняні страхові компанії (СК) працюють в нестабільному середовищі, що вимагає розробки та застосування нових підходів для своєчасного попередження кризових ситуацій. Динамічний аналіз патернів – це нова область аналізу даних, пов'язана з дослідженням динаміки розвитку соціально-економічних об'єктів, пошуком їх взаємозалежностей та класифікацією [1-2]. Для керівництва СК аналіз динаміки розвитку СК є засобом отримання достовірної інформації про можливості СК. Результати цього аналізу є основою ухвалення управлінських рішень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблеми аналізу та моделювання діяльності підприємств і фінансових установ знайшли відображення в роботах багатьох зарубіжних і вітчизняних вчених, зокрема: Альтмана Е., Базилевича В., Бівера У., Благуна І., Бланка І., Вітлінського В., Гейця В., Грозава К., Слейка В., Єріної А., Камінського А.,