

# **МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ**

**МОНОГРАФІЯ**

Міністерство освіти і науки України  
ДВНЗ «Одеський національний економічний університет»  
(Україна)  
Черкаський національний університет  
імені Богдана Хмельницького (Україна)  
ДВНЗ «Київський національний економічний університет  
імені Вадима Гетьмана» (Україна)  
Південноукраїнський національний педагогічний університет  
імені К.Д.Ушинського (Україна)  
Університет Бен-Гуріон (Ізраїль)  
Університет Марії Кюрі-Склодовської (Польща)  
Інститут Менеджменту Інформаційних Систем  
(Латвія)

# **МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ**

**МОНОГРАФІЯ**

**ОДЕСА – 2015**

УДК 330.368(477)  
ББК 65.9(4УКР)я431  
М74

Рекомендовано Вченою радою ННІ економіки і права Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького (протокол № 6 від 11.03.2015)

**Рецензенти:** *Зеленський О.С.*, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформатики, автоматички і систем управління ДВНЗ «Криворізький національний університет» (м. Кривий Ріг)

*Клебанова Т.С.*, доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри економічної кібернетики Харківського національного економічного університету університет імені Семена Кузнеця (м. Харків)

*Черняк О.І.*, доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри економічної кібернетики Київського національного університету імені Тараса Шевченка (м. Київ)

**Моделювання складних систем :** Монографія / За заг.ред. Соловйова В.М. - Черкаси: Брама, видавець Третяков О. М., 2015. - 354 с. : Англ. мова, рос. мова, укр.. мова : іл.

В монографії розглянуто сучасні підходи до моделювання та управління складними системами з емерджентними властивостями. Показано, що теорія складності може слугувати природною парадигмою створення надійних методів і продуктивних моделей.

УДК 330.368(477)  
ББК 65.9(4УКР)я431

© В.М. Соловйов, 2015 р.  
© Автори статей, 2015 р.

## **НАУКОВИЙ АВТОРСЬКИЙ КОЛЕКТИВ:**

Вітлінський В.В., д.е.н., професор (розділ 2.1),  
Діордіца С.Г., д.е.н., професор (розділ 2.2), Захарченко П.В.,  
д.е.н., професор (розділ 2.3), Іванов М.М., д.е.н., професор  
(розділ 3.5), Курбанов К.Р., д.т.н., професор (розділ 3.6),  
Матвійчук А.В., д.е.н., професор (розділ 1.4), Порохня В.М.  
д.е.н., професор (розділ 2.7), Пурський О.І., д.ф.-м.н., професор  
(розділ ), Рамазанов С.К., д.т.н., д.е.н., професор (розділ 1.9),  
Соловійов В.М., д.ф.-м.н., професор (розділ 1.5; 1.7)

Барна М.Ю. к.е.н., доцент (розділ 3.1), Бирський В.В.,  
к.е.н., доцент (розділ 3.2), Волосова Н.М., к.т.н., доцент (розділ  
2.9), Гурова В.О., к.е.н., доцент (розділ 3.3), Денісова О.О,  
к.е.н., доцент (розділ 3.4), Діленко В.А., к.е.н., доцент (розділ  
2.2), Кобець В.М., к.е.н., доцент (розділ 2.4), Корзаченко О.В.,  
к.е.н. (розділ 2.5), Корольков В.В., к.е.н., доцент (розділ 1.3),  
Малаксіано Н.О., к.ф.-м.н., доцент (розділ 2.6), Мельник Г.В.,  
к.е.н. (розділ 2.1), Потапенко С.Д., к.е.н., доцент (розділ 3.7),  
Пучкова С.І, к.е.н., доцент (розділ 3.9), Пушкар О.І. к.е.н.,  
доцент (розділ 3.6), Саєнсус М.А.,к.е.н., доцент (розділ 2.8),  
Скіцько В.І. к.е.н., доцент (розділ 2.1), Сокурєнко П.І., к.е.н.,  
доцент (розділ 3.10), Соловійова В.В., к.е.н., доцент (розділ 1.6),  
Стебляк Н.Ф., к.е.н., доцент (розділ 3.10)

Величко О.М. (розділ 1.1), Водолеєва І.Є. (розділ 1.6),  
Гопка (розділ 1.2), Данильчук Г.Б. (розділ 1.1), Демченко Р.С.  
(розділ 3.8), Литвин К.В. (розділ 1.3), Мазоха Д.П. (розділ 3.8),  
Самусьонок А.В. (розділ 1.8), Сергєєв П.П. (розділ 3.9),  
Сергієнко А.В. (розділ 1.9), Сердюк О.А. (розділ 1.5), Снар І.І.  
(розділ 1.4), Соловійова К.В. (розділ 1.8), Тобілевич Ю.Є.  
(розділ 1.2), Федорішин І.Є. (розділ 1.7)

## ПЕРЕДМОВА

Задекларований перехід економіки України на інноваційний шлях розвитку в умовах обмеженості ресурсів, у першу чергу фінансових, вимагає зосередження їх на найбільш перспективних напрямках, де імовірність досягнення конкурентного успіху є найбільшою. Як свідчить практика, такого роду оцінки доцільно виконувати із застосуванням економіко-математичних моделей. Множинність шляхів вибору моделей і методів актуалізує необхідно розуміння основних тенденцій розвитку наукового знання і ключових досягнень.

Говорячи мовою синергетики, необхідно виділити такі параметри порядку – провідні змінні, які з плином часу починають визначати динаміку і розвиток складної системи і підпорядковувати собі її інші параметри, які призведуть до ефективного спрощення складного об'єкта.

Все більш очевидною є революція, що почалася в природничих і гуманітарних науках і пов'язана з вивченням феномена самоорганізації і дослідженням мережних структур. Мережна парадигма складності обумовлена великим значенням, яке придбали такі об'єкти, і тим, що на початку ХХІ століття очевидною стала різюча аналогія в топології мережних структур, що виникають завдяки активному використанню інформаційно-телекомунікаційних, гуманітарних, управлінських, військових технологій.

Мережі стали одним з двигунів економіки. У своїй історії людство долало різні бар'єри, створюючи нові матеріали, технології, об'єкти. Однак «мережева економіка» зіткнулася з обмеженнями самої людини – так званім «когнітивним бар'єром». Як показали психологи, людина в змозі активно, творчо взаємодіяти з 5-7 людьми (з рештою опосередковано або стандартно, незалежно від того, скільки у нього друзів у соціальній мережі). Вона може одночасно стежити за 5-7 змінними (незалежно від того, наскільки великий обсяг інформації йому доступний). Приймаючи рішення, вона може зважити 5-7 факторів (скільки б даних у неї не було).

Зліт нової економіки в США в 1990-х роках, пов'язаний багато в чому з інтернет-компаніями, породив ілюзію, що капіталізація мережних структур пропорційна числу зв'язків між вузлами, тобто квадрату числа вузлів  $N^2$ . Однак, коли на початку 2000-х років міхур «нової економіки» лопнув (криза «доткомів – .com»), то виявилось, що реальна капіталізація мала зовсім іншу залежність від числа об'єктів, пов'язаних мережею –  $N \ln N$ . Інакше кажучи, не «всі зв'язуються з усіма», а майже всі взаємодіють з декількома дуже великими вузлами-хабами, які вже тісно пов'язуються між собою. Подібним же чином виявляється влаштована інфраструктура більшості складних систем, не залежно від їх природи.

Мережні технології змінили обчислювальну математику, системний аналіз, інформаційні технології. В останні роки було реалізовано кілька грандіозних мережних проектів, в яких поставлена задача вирішувалася завдяки спільним діям сотень тисячі або навіть мільйонів комп'ютерів. Це і криптографічні проблеми, і пошук ліків проти раку, заснований на математичному моделюванні взаємодії різних речовин з клітинами. Це розподілений аналіз даних космічних експериментів та обробка результатів, отриманих на Великому адронному колайдері.

В зв'язку з новою мережною парадигмою складності перед фахівцями з моделювання економіки виникають принципово нові, актуальні задачі. Ось, на наш погляд тільки деякі з них:

- дослідження надійності, робастності мереж відносно випадкових помилок та направлених атак;
- аналіз когнітивних можливостей складних систем;
- моделювання мультиплексних мереж (мережі мереж);
- вплив нанотехнологій на формування наноекономіки та ін.

Сьогодні вже зрозуміло, що відповідних інновацій вимагає і система освіти. На початку комп'ютерної ери основну цінність і проблеми становили власне комп'ютери (hardware) і акцент робився на підготовку фахівців з обчислювальної техніки. Потім величезне значення набуло програмне забезпечення (software) і була розпочата підготовка дослідників у цій галузі (computer science) та інженерів-

програмістів (computer engineering). В даний час на перший план виходять фахівці з мережних технологій (netware). Саме таких фахівців треба починати готувати у провідних національних університетах.

Дана монографія є колективною науковою працею українських та зарубіжних авторів у царині означених проблем.

Перший розділ присвячений розробці інструментарію дослідження складних систем, зокрема, у рамках мережної парадигми. В другому розділі містяться роботи з актуальних питань моделювання економіки в поточних умовах. Розділ 3 містить питання розробки та впровадження сучасних інформаційних систем і технологій.

Від імені авторів висловлюю щирю вдячність рецензентам професорам Зеленському О.С., Клебановій Т.С. та Черняку О.І., чії критичні зауваження покращили як структуру, так і зміст монографії.

Редактор,  
завідувач кафедри економічної кібернетики  
Черкаського національного університету  
імені Богдана Хмельницького  
д.ф.-м.н., професор В.М.Соловійов

Черкаси, травень 2015р.

19. Gray C.M. Chattering cells: Superficial pyramidal neurons contributing to the generation of synchronous oscillations in the visual cortex // C.M. Gray, D.A. McCormick. – Science. – 1996. – Vol. 274. – No. 5284. – P. 109–113.
20. Sakai M. Neural Mechanisms of Fine-Grained Temporal Processing in Audition // Sakai Masashi. – Otolaryngology: Current Research; Special Issue b. – 2012. – Vol. 2. – Issue S. – Special section p1.

## 1.5. ФІНАНСОВА КРИЗА ЯК ПРОЦЕС АНОМАЛЬНОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ

Фінансова криза розглядається як процес синхронізації окремих вузлів мережі, які являють собою агентів ринку, а зв'язками слугують міри зв'язку між ними. Показано, що в рамках кореляційної та рекурентної мереж відомі кризи з 1987 по 2015рр. проявляються у вигляді аномальної синхронізації та зростання складності системи.

**Ключові слова:** фінансова криза, складні мережі, кореляція, синхронізація, спектральні властивості, топологічні міри складності

Не дивлячись на увагу, яка приділяється дослідженню кризових явищ на фінансово-економічних ринках, однозначного розуміння причин, механізмів формування та перебігу криз не існує [1]. Тому часто аналізуються окремі властивості кризових явищ та специфіка їх прояву. Так, однією з характерних рис кризи є зростання процесів кореляції і синхронізації в системі, яку вона охопила.

Згідно недавніх досліджень МВФ протягом останньої глобальної фінансової кризи 2007-2009рр. об'єм виробництва країн світу змінювався синхронно. Кореляція темпів росту ВВП різних країн світу була низькою до кризи, але різко (в 5-6 разів) зросла в період кризи. В після кризовий період кореляція зменшилась майже до значень на початок кризи [2].

Революційні зрушення у розумінні особливостей формування і протікання кризових явищ відбуваються останні 10-15 років. Причина криється в усвідомленні зміни сучасної



парадигми моделювання складних соціально-економічних систем. Стало очевидним, що більшість складних систем організовані у мережі, які мають ряд специфічних властивостей, які не можна не враховувати при моделювання кризових явищ [3].

В даній роботі ми покажемо, що в рамках мережної парадигми складності фінансова криза проявляється як колективне явище аномального зростання кореляційних і синхронізаційних процесів.

Почнемо з процесів кореляції. Розглянемо динаміку кореляційних процесів на прикладі фондового ринку США за індексом S&P500 у формалізмі теорії випадкових матриць [4]. База даних являє собою послідовність часових рядів, які характеризують щоденні значення цін акцій 119 (із 500) компаній-емітентів акцій за період з 02.01.1984 по 21.04.2015рр. [5].

Для кількісного визначення кореляцій спочатку обчислюється логарифмічні прибутковості акції  $i = 1, \dots, N$  за час  $\Delta t$ ,

$$G_i(t) = \ln S_i(t + \Delta t) - \ln S_i(t), \quad (1)$$

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

$$g_i(t) \equiv \frac{G_i(t) - \langle G_i \rangle}{\sigma_i}, \quad (2)$$

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 обчислення матриці взаємних кореляцій  $C$  зводиться до формули:

$$C_{ij} \equiv \langle g_i(t) g_j(t) \rangle. \quad (3)$$

Для отримання інформації про взаємні кореляції  $C$  необхідно порівняти властивості  $C$  з такими ж властивостями випадкової матриці крос-кореляцій. У матричній нотації така матриця може бути виражена як

$$C = \frac{1}{L} G G^T, \quad (4)$$

де  $G$  – матриця розміру  $N \times L$  з елементами  $\{g_{im} = g_i(m\Delta t), i = 1, \dots, N; m = 0, \dots, L-1\}$  і  $G^T$  позначає транспонування  $G$ . Розглянемо випадкову кореляційну матрицю

$$R = \frac{1}{L} A A^T, \quad (5)$$

де  $A$  – матриця розміру  $N \times L$ , що містить  $N$  часових рядів із  $L$  випадковими елементами  $a_{im}$  з нульовим середнім і одиничним відхиленням, що означають взаємну некорельованість.

Статистичні властивості випадкових матриць типу  $R$  відомі. Зокрема, у наближенні  $N \rightarrow \infty$ ,  $L \rightarrow \infty$ , такому, що

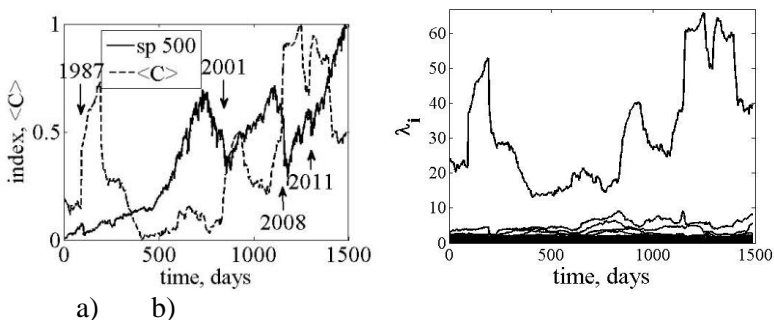
$Q \equiv \frac{L}{N} (> 1)$  фіксоване, показано аналітично, що функція розподілу щільності імовірності  $P_{rm}(\lambda)$  власних значень  $\lambda$  випадкової матриці кореляції  $R$  визначається як

$$P_{rm}(\lambda) = \frac{Q}{2\pi} \frac{\sqrt{(\lambda_+ - \lambda)(\lambda - \lambda_-)}}{\lambda} \quad (6)$$

для  $\lambda$  в межах границь  $\lambda_- \leq \lambda_i \leq \lambda_+$ , де  $\lambda_-$  і  $\lambda_+$  – найменше і найбільше власні значення  $R$ , відповідно,

$$\lambda_{\pm} = 1 \pm \frac{1}{Q} \pm 2 \sqrt{\frac{1}{Q}}. \quad (7)$$

На рис. 1 наведена динаміка середнього значення коефіцієнта кореляції  $\langle C \rangle$  у порівнянні з динамікою самого індексу S&P500 та власних значень кореляційної матриці  $\lambda_i$ .



**Рис. 1.** Динаміка середнього значення коефіцієнта кореляції  $\langle C \rangle$  (а) та спектру власних значень  $\lambda_i$  кореляційної матриці (б)

Видно, що в періоди криз (відмічені стрілками) значення  $\langle C \rangle$  стрімко зростає, спадаючи після кризи. Аналогічно поводить себе і максимальне власне значення  $\lambda_{\max}$ . Також важливим показником стійкості і складності системи є різниця між двома найбільшими власними значеннями (спектральний розрив). На рис. 1б) спектральний розрив зростає у періоди кризи, що свідчить про зростання складності системи.

Дослідимо синхронізаційні властивості складних мереж. Синхронізацією називається підстроювання ритмів автоколивальних систем за рахунок слабкого взаємодії між ними. Явище синхронізації було відкрито ще в 1665р. голландським фізиком Х.Гюйгенсом. Він виявив, що маятники двох годинників, через деякий час, після того як їх повісять поруч на одну стіну, починають гойдатися повністю синхронно. Коли ці годинник помістять на протилежні стіни кімнати, явища синхронізації не спостерігається. Очевидно, що синхронізацію коливань маятників цих годинників можна пояснити їх впливом один на одного через вібрацію стіни, на якій вони висять.

Синхронізація відіграє важливу роль в просторово-часовій організації багатьох природних і штучних складних систем – від поділу клітин і скорочення серцевого м'язу до управління багатоагентними системами і деяких функцій роботи мозку [6].

У запропонованій Курамото [7] моделі колективної синхронізації кожен  $i$ -й осцилятор описується фазою  $\theta_i$ , а сам процес синхронізації описується наступною системою звичайних диференціальних рівнянь:

$$\frac{d\theta_i}{dt} = \omega_i + \frac{K}{N} \sum_{j=1}^N \sin(\theta_j - \theta_i), i = 1, 2, 3, \dots, N. \quad (8)$$

Параметр  $K/N$  визначає силу зв'язку між осциляторами. Власні частоти  $\omega_i$  осциляторів задовольняють розподілу Лоренця

$$g(\omega) = \frac{\gamma}{\pi[\gamma^2 + (\omega - \omega_0)^2]}, \quad (9)$$

ширина якого дорівнює  $\gamma$ , а середнє значення частоти дорівнює  $\omega_0$ .

В якості параметра порядку  $r(t)$  вводиться міра синхронізації системи

$$r(t) = \left| \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \exp(i\theta_j(t)) \right|. \quad (10)$$

Якщо всі частоти різні, то в кожен момент часу всі фази рівномірно розподілені на інтервалі  $[0, 2\pi]$  і параметр порядку дорівнює нулю. Якщо ж кілька осциляторів в ансамблі синхронізуються на деякій частоті, то їх фази додаються і виникає ненульовий параметр порядку.

У межі  $N \rightarrow \infty$  і  $t \rightarrow \infty$  для параметра порядку отримуються такі значення:

$r = 0$ , якщо  $K < K_c$  (повна десинхронізація),

$r = \sqrt{1 - (K_c / K)}$ , якщо  $K > K_c$ ,  $K_c = 2\gamma$ .

Тобто критичний індекс для параметра порядку дорівнює  $1/2$ .

Таким чином, система зв'язаних осциляторів є десинхронізованою, поки сила зв'язку між осциляторами не перевищує критичного значення, пропорційного подвоєній ширині розкиду частот. Після цього в системі зв'язаних

осциляторів з'являється «острівець синхронізації», розмір якого зростає в міру зростання сили зв'язку між осциляторами. У граничному випадку нескінченно великої сили зв'язку всі осцилятори будуть коливатися синхронно.

Пізніше були досліджені властивості синхронних станів для різних моделей мереж [13]– від випадкових Ердеша-Рен'ї до моделей малого світу на безмасштабних (масштабно-інваріантних). Чисельне моделювання показує, що критичне значення сили зв'язку між осциляторами, при яких настає синхронізація, в мережах з безмасштабною структурою помітно менше, ніж у мережах із регулярною або хаотичною структурами [6].

Дослідження також показали, що синхронізація в безмасштабних мережах не руйнується, якщо випадковим чином видалити 5% вузлів. Якщо ж видалити 1% вузлів з найбільшим числом зв'язків, синхронізація в такій мережі зникає. Крім того, на синхронну поведінку в мережних структурах сильно впливає розподіл зв'язків між вузлами.

Гомез-Гарденес зі співробітниками досліджували особливості процесів еволюції синхронізації і виникнення патернів синхронізації у випадковій мережі типу Ердеша-Рен'ї та безмасштабних мережних структурах [8]. Вони чисельно проінтегрували рівняння Курамото для мережних структур:

$$\frac{d\theta_i}{dt} = \omega_i + J \sum a_{ij} \sin(\theta_j - \theta_i), \quad (11)$$

де  $a_{ij}$  - коефіцієнти матриці суміжності для відповідної мережі,  $J$  - сила зв'язку між осциляторами,  $N=1000$ . Розрахунки показали, що синхронізація в безмасштабних мережах відбувається при більш низьких значеннях  $J_c$ , ніж у випадкових мережах Ердеша-Рен'ї, а сам фазовий перехід у випадкових мережах більш різкий, ніж у безмасштабних мережах.

Досліджувалися також процеси формування областей синхронізації сусідніх осциляторів для декількох значень  $J$  для обох типів мереж, і було виявлено якісне розходження для цих двох типів мережних структур. У безмасштабних мережах

основні ядра синхронізації формуються габами, які поглинають сусідні малі кластери. У мережах Ердеша-Рен'ї численні маленькі кластери синхронізації до виникнення фазового переходу розподілені досить однорідно по всьому графу.

Вплив процесів синхронізації на кризу зазвичай розглядається в моделях синхронізації економічних циклів із врахуванням процесів глобалізації [9]. Так, в роботі [10] у якості бази даних обрано світову торговельну мережу, вузлами якої є країни, а ребрами – потоки імпорту-експорту між ними. Модель економічного циклу для окремої країни асоційована з осцилятором, що співставляється з кожним вузлом мережі.

Нами пропонується дещо інший шлях дослідження процесів синхронізації. Він зводиться до аналізу спектральних і топологічних характеристик мереж без розв'язування рівнянь Курамото.

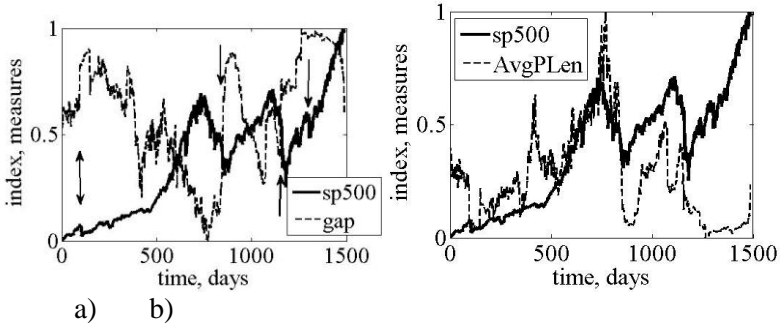
Для побудови і аналізу властивостей графа слід сформуванати з кореляційної матриці матрицю суміжності. Для цього треба ввести величину, яка для поля кореляцій буде слугувати відстанню між корелюваними агентами. Такою відстанню може слугувати залежна від коефіцієнта кореляції  $C_{ij}$  величина

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

Так, якщо коефіцієнт кореляції між двома активами помітний, відстань між ними є малою, і, починаючи з деякої критичної величини  $x_{cr}$ , активи можна вважати зв'язаними на графі. Для матриці суміжності це означає, що вони є суміжними на графі. В протилежному випадку активи не є суміжними. При цьому обов'язковою умовою є зв'язність графа.

Розрахунки проводились у такий спосіб. Обирався часовий проміжок (вікно), наприклад, два роки (приблизно 500 торговельних днів) і для нього знаходилась матриця кореляцій (3). Вона перетворювалась у матрицю суміжності, за якою будувався зв'язний граф та розраховувались його спектральні і топологічні властивості [11]. Далі вікно зміщувалось з кроком, наприклад, одна неділя (5 торговельних днів) і процедура повторювалась до вичерпання часових рядів.

На рис. 2 із множини спектральних та топологічних характеристик обрані типові: спектральний розрив для матриці суміжності (gap) та середній найкоротший шлях (AvgPLen) між вузлами графа.



**Рис. 2. Характерна динаміка спектральної (а) та топологічної (б) мір синхронізації кореляційної мережі**

Рис. 2 свідчить про системні зміни як спектральних, так і топологічних характеристик мережі, побудованої на основі кореляційної матриці. Так, спектральний розрив у періоди криз зростає, а середній найкоротший шлях зменшується внаслідок зростання кореляцій і синхронізації усієї мережі.

Аналогічні властивості розглядались і для мережі, побудованої принципово іншим шляхом, а саме, з використанням рекурентних властивостей складної системи [12]. Технологію рекурентних діаграм для візуалізації рекурентностей у фазовому просторі заснована на ідеї Анрі Пуанкаре щодо рекурентності фазового простору динамічних систем. Згідно з теоремою Такенна, еквівалентна фазова траєкторія, що зберігає структуру оригінальної фазової траєкторії, може бути відновлена з одного спостереження або часового ряду методом часових затримок:

$$\hat{\vec{x}}(t) = (u_i, u_{i+\tau}, \dots, u_{i+(m-1)\tau}) ,$$

де  $m$  – розмірність вкладення,  $\tau$  – часова затримка (реальна часова затримка визначається як  $\tau \cdot \Delta t$ ). Рекурентна ж діаграма відображає наявні повторюваності у формі бінарної матриці  $R$ , де  $R_{i,j} = 1$ , якщо  $\vec{x}_j$  є сусіднім до стану  $\vec{x}_i$ , і  $R_{i,j} = 0$  у

протилежному випадку. Сусідніми (або рекурентними) є стани  $\bar{x}_j$ , які потрапляють в  $m$ -вимірну околицю з радіусом  $\varepsilon$  і центром в  $\bar{x}_i$ . Зрозуміло, що параметри  $m$ ,  $\tau$  та  $\varepsilon$  є ключовими при проведенні рекурентного аналізу. Так, типовий фазовий портрет фрагменту часового ряду для тривимірного простору і часового лагу в один день і  $\varepsilon=0.1$  представлено на рис. 3а), а відповідну рекурентну діаграму – на рис. 3б).

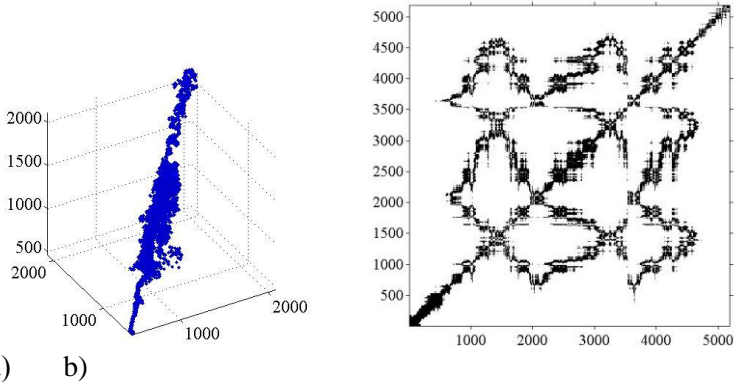


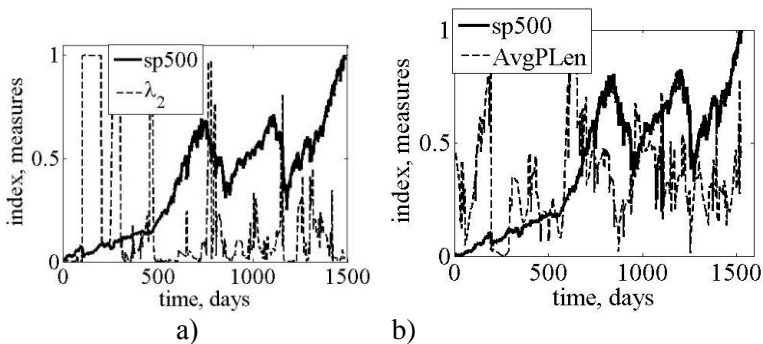
Рис. 3. а) Типовий фазовий портрет фрагменту часового ряду.  
 б) Рекурентна діаграма, що відповідає фазовому портрету а)

Рекурентна діаграма легко трансформується у матрицю суміжності, а далі процедура розрахунку спектральних і топологічних характеристик графа є аналогічною до описаної у випадку кореляційних мереж.

На рис. 4 показана динаміка двох типових мір синхронізації для індексу S&P 500 за період з 02.01.1984 по 21.04.2015рр.

Спектральна міра  $\lambda_2$  (інакше, алгебраїчна зв'язність) є другим з найменших і першим ненульовим власним значенням матриці Лапласа і характеризує, зокрема, процеси синхронізації у мережі. Бачимо, що у кризові періоди  $\lambda_2$  стрибкоподібно зростає. Аналогічно, але спадає значення AvgPLen. При цьому результати аналогічні тим, що отримані для кореляційних мереж.





**Рис. 3. а) Динаміка алгебраїчної зв'язності та б) середнього найкоротшого шляху між вузлами графа**

Таким чином, процеси синхронізації складних мереж можна досліджувати альтернативним моделі Курамото шляхом. Поведінка параметрів синхронізації (одночасно і параметрів складності) свідчить про те, що у періоди криз складна мережа, яку формують агенти економічного ринку, є значно більш синхронізованою, помітно зростають кореляційні процеси. Все це говорить на користь колективних моделей кризових явищ, детальне вивчення яких потребує подальших досліджень.

### **Список використаної літератури**

1. Сорнетте Д. Как предсказывать крахи финансовых рынков. Критические события в комплексных финансовых системах // Пер.с англ.-М.-2008. : Смартбук. -400с.
2. Abiad A. Dancing together? Spillovers, common shocks, and the role of financial and trade linkages / A.Abiad, D.Furceri et al // World Economic Outlook: Transitions and Tensions. IMF, Oct/ 2013, Ch.3.-P.81-111.
3. Синергетика и сетевая реальность / Т.С.Ахромеева [и др.] // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. – 2013, № 34. – 32 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2013-34>.
4. 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. – 300 с.

5. Матеріали інформаційного сайту «Yahoo!Finance» з питань історичних даних показників фондових індексів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://finance.yahoo.com>

6. Consensus and synchronization in complex networks Ed. L. Kocarev, Springer: Berlin-Heidelberg. – 2013.- 275 p.

7. Kuramoto, Y., Chemical Oscillations, Waves, and Turbulence. // Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo, Springer-Verlag 1984. – 156 p.

8. Gomez-Gardennes J., Moreno Y., Arenas A.2007, Paths synchronization on complex networks / J.Gomez-Gardennes, Y.Moreno, A.Arenas // Phys. Rev. Lett. -2007.-v.98, 034101.

9. Calcagnile L.M. Collective synchronization and high frequency systemic instabilities in financial markets / L.M.Calcagnile, G.Bornetti, M.Treccani, S.Marmi, F.Lillo [Електронний ресурс] – Режим доступу: [arXiv:1505.00704v1](https://arxiv.org/abs/1505.00704v1) [q-fin.ST] 4 May 2015.

10. Erola P. Modeling international crisis synchronization in the world trade WEB / P.Erola, A.Diaz-Guilera, S.Gomez, A.Arenas // [Електронний ресурс] – Режим доступу: [arXiv:1201.2024](https://arxiv.org/abs/1201.2024) [q-fin.GN] 10 Jan 2012.

11. Соловйов В.М. Дослідження топологічних та спектральних властивостей фондових індексів засобами аналізу складних мереж / Соловйов В.М., Соловйова К.В. - Конференція СПМСЕС-VI. – Харків, 2014. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://mpsesm.org/index.php/mpsesm/mpsesm6/paper/view/35>

12. 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](https://arxiv.org/abs/1010.6032v1) [nlin.CD] 25 Oct 2010.

13. Евин И.А. Введение в теорию сложных сетей / И.А.Евин // Компьютерные исследования и моделирование. – 2010. – Т.2, №2. – С.121-141.

## ANNOTATION

### **Barna M. Yu. Scientific approach to increase efficiency dominants selection system of domestic trade in Ukraine**

This article contains the methodological thesis; system of the relationships between the factors and indicators for each subsystem of the domestic trade; selection of dominants efficient for the system of domestic trade of Ukraine under the transformation, division of the dominants to dominants-adaptors and dominants-stimulators which allow to achieve an increase of turnover at the national level.

**Keywords:** domestic trade, dominants, indicators, national level, system factors.

### **Byrskyi V.V. Open economy as a factor of sustainable development**

Studying the concept of strategy as a tool for development and implementation of sustainable economic systems have important scientific objectives: to identify a set of economic indicators that reflects the level of openness and interaction between economic systems; spend updating their classification; the role of openness regional economic system in shaping the strategy of sustainable development.

### **Denisova O.O. The Study of Enterprise Architecture Software Requirements**

The work considers of Enterprise Architecture management activities that need computer-aided support. Enterprise Architecture Software is examined. Requirements for software components are elaborated.

### **Diorditsa S.G., Dilenko V.A. Evaluation and analysis of the functioning of the economy of Ukraine using the model «input-output»**

Evaluation and analysis of the efficiency of functioning of the economy of Ukraine, using the model of «input-output» In terms of economic and mathematical model «input-output» suggested a complex of performance indicators system manufacturers. Based on

these indicators, using official statistics analyzed the efficiency of the Ukrainian economy and identified some trends in its dynamics in 2003 - 2012 years.

**Gurova V. Explosive innovations in insuring of global corporative competitiveness.**

The article is devoted to the investigation of the role of explosive innovations in insuring of global corporative competitiveness. It is concluded that the economy of the developed countries is characterized by the domination of the high-tech branches and service sector. Using of the explosive innovations opens the prospects for solving of social and economic problems. It is estimated that the share of explosive innovations makes up 14 % of total amount of innovations. It is defined that the modern world market is characterized by such tendencies: globalization, acceleration of information exchange, cutting down the knowledge transfer length, strengthening of organizations interaction etc. It is analyzed the innovation activity of Ukraine's enterprises and concluded that more than 70 % of enterprises applied by innovation activity due to the own funds and the share of explosive innovations is near 10 %.

**Keywords:** explosive innovations, corporative competitiveness, innovation activity, knowledge transfer, information exchange.

**Hopka V., Tobilevich J. Network analysis applied to dynamics research commodity market in times of crisis**

The work is devoted to research of features spot market dynamics in times of crisis by means of network analysis. The results give reason to believe that unlike the stock, commodity markets are virtually uncorrelated, which greatly complicates the prediction of adverse events.

**Keywords:** complex networks, measure of complexity, topological analysis, spectral analysis, the commodity market, crisis

**Ivanov N.N. Model build information and logistics systems**

This section considers an approach to the smart management of business entities. The paper proposes a conceptual model of logistic information management system of the economic entity and of the

developed model is the basis for building Internet portal. Keywords: smart management, logistic system, information management.

### **Kobets V. Model of double electronic vickrey auction**

The paper deals with different approaches to special mechanisms for the distribution of goods and payments, such as auction model. Different formats of auctions that change welfare of their participants are investigated. It is defined that in double Vickrey auction incentives for most buyers and sellers are created to reveal their true types. The developed version of double Vickrey auction showed the highest efficiency in the terms of social welfare among alternative formats and disproved the ability of Vickrey auction to achieve results like market mechanism of perfect competition.

### **Korolkov V., Lytvyn K. Cognitive aspects raising of knowledge's component in the production function**

As the title implies, this paper considers two main ideas of modern society: knowledge economy and human potential. Over the last decades, world market economy has expanded and its functioning has undergone deep changes. Economy in developed countries has become driven by technologies based on knowledge and information production and dissemination. The role of education in any economy can be seen through the role it plays in the formation of human capital in a country. As a result of these investigations, the conclusion should be made that the concept “knowledge economy” must take the basic place among different strategies of economic development.

### **Korzachenko O.V. Call-center modeling: theoretical aspects**

A call-center is a collection of resources capable of delivering services by telephone. The number of call-centers is increasing rapidly: many companies see a call-center as a way to have a close relation with the customer. Correctly sizing the capacity of a call-center can bring benefits in terms of improved customer service and in terms of reduced operating costs (efficiency). Specifying the capacity of a call-center is a task that demands a significant knowledge of mathematics, in particular of analytical models. This paper presents the Erlang B, Erlang C and Simulation models

followed by a comparison based in order to identify the advantages of using simulation.

**Kurbanov K.R., Pushkar A.I. Economic security of Ukraine**

Energy security, the state of which depends on the effectiveness of the implementation of policies to protect national interests in energy and related sectors, is an important component of economic and national security of Ukraine. The article reveals global trends providing energy and energy efficiency, the relationship between energy consumption and economic development of the country, describes the state's energy and economic security of Ukraine and ways to improve it.

**Malaksiano M.O. On the planning of the equipment's repairs and retirement terms which provides stability of the economic indicators when the forecast level of equipment's employment is uncertain**

The problem of the optimal repairs and retirement terms planning is considered for the complex port equipment when its forecast level of employment is uncertain. The diffusion process is used to simulate the stochastic process of equipment's employment. The multiobjective mathematical model is introduced to investigate the problem of the optimal repair and replacement schedule for the complex port equipment that reduces the risks associated with the inability to predict the exact level of employment.

**Matviychuk A., Sknar I. Description of biologically plausible artificial neuron's logic**

The article deals with the creation of biologically plausible neurons that can be used to create a new generation of neural networks. Using the latest achievements in the field of neurobiology allowed making an algorithm that can be used to create biologically plausible artificial neuron. By combining neurobiological and technological advances offered a radically new neural model to provide a basis for constructing a neural architecture that is as close to the biological counterpart. The possibility of the free model refinement and complexity, and performance models at any level

scale (isolated from one neuron to the integrated neural structures) is provided.

**Keywords:** biologically plausible artificial neural network, neuron, synapse, artificial intelligence

**Potapenko S. D. The expert estimation of results of SWOT analysis**

The publication analyzes the current state for development of estimation's methods of results of SWOT analysis. Considered author's approach to the quantitative evaluation of results of SWOT analysis. Describes a method for assessing the quality of results of SWOT analysis and their interpretation.

**Puchkova S.I., Sergeev P.P. Providing of competitiveness of enterprise in conditions of active external environment**

The influence of the environment on the competitiveness of enterprise is determined. The weaknesses of functional management in the conditions of active external environment marked. The essence of the process approach in enterprise management is analysed. The notions and advantages of of business process reengineering are explored, expediency of its application for providing of competitiveness of enterprise is grounded

**Pursky O.I., Demchenko R.S., Mazoha D.P. Features of construction of information management system by business processes of trade enterprise**

In the presented work the teatures of construction of information management system by business processes of trade enterprise were study. The models of management by trade enterprise economic activities are considered. The structure of information management system by business processes of trade enterprise on the basis of the centralised business management model is developed.

**Ramazanov S.K., Sergiyenko A.V. Integral social, ecological and economic stochastic model of dynamics of technogenical regional business in crisis**

Developed and investigated integrated social-ecological-economic model stochastic dynamics of man-made regional enterprises

suitable for the crisis. When modeling the dynamics of labor, resources and other factors used generalized logistic equation Ferhyulsta as stochastic modeling. A review and analysis of some received in recent years by various authors on the results of macro and micro-economic dynamics of ecological and socio systems and processes that operate and develop in difficult conditions nelyneynostey, nestabylnostey and management. Most previously created models of socio-ecological and economic systems (SEES) have theoretical and determined character and quite problematic in terms of the availability of information for their implementation. In this context, the task of managing technological regional production in crisis causes an objective need to improve methods, models and information technology-based stochastic equations to control SEES.

### **Serdyuk O., Soloviev V. Financial crisis as process abnormal synchronization**

The financial crisis is seen as the synchronization of individual nodes, which are agents of the market, and links serve as a measure of communication between them. It is shown that in the correlation, and recurrent networks known crisis of 1987-2015. manifested as abnormal synchronization and increasing complexity of the system.

**Keywords:** financial crisis, complex networks, correlation, synchronization, spectral properties, topological measures of complexity

### **Soloviev V.M., Fedorishin I.E. Research influence of economic shocks on the economy of Ukraine**

In the paper presented the dynamic stochastic general equilibrium model, which is adapted to the known model Ireland and includes twelve parameters. The influence of economic shocks on key macroeconomic indicators are studied. Assessment results will predict the effects of shocks to the economic system of Ukraine and develop strategic solutions to its stabilization and development.

**Keywords:** dynamic stochastic model of general equilibrium, indicator, economic shocks, globalization

### **Solovyova K.V., Samusyonok A.V. Modelling competitiveness indices by vi- financial markets**



Current research defines the advantages of modern interdisciplinary approaches to analysis the competitiveness ranking, justifies the efficiency of using recurrent, spectral and topological methods on the example of financial data.

**Keywords:** global competitiveness index, information measures, recurrence measures, topological analysis, spectral analysis.

**Solovyova V.V., Vodoleeva I.Y. The complex networks theory and economical linguistics**

In the article considers the basic concepts and theoretical foundations of cognitive science. Analyzed the basic tools of complex networks theory for economic systems. Presents the results of calculation of spectral and topological measures for economic publications. Constructed graph visibility for cognitive networks

**Keywords:** complex networks, economic crisis, cognitive linguistics, graph, topological measures, spectral characteristics

**Steblyuk N., Volosova N. Application economic and mathematical methods and models in marketing research**

The work done structuring process of economic and mathematical modeling and systematization of economic and mathematical methods and models used in marketing research. We describe the most common modern economic and mathematical modeling techniques appropriate to the nature and type of marketing objectives. Examples of problems solved by standard mathematical models, although unrelated to the situation modeled first.

**Keywords:** economic-mathematical model, marketing research, the optimal solution.

**Velichko O.M., Danilchuk G.B. Prevention economic crisis means multifractal analysis**

The results are compared multifractal analysis for foreign exchange, commodity and stock markets. It is shown that Hurst local coefficient and multifractality spectrum width can serve as indicator-predictor of the crisis

**Keywords:** stock index, local Hurst coefficient, range multifractality, indicator-predictor of crises.

**Vitlinskyy V. V., Skitsko V. I., Melnyk H. V. Modeling of logistics systems' process using Petri Nets and taking account the uncertainty of their functioning.**

Conceptual principles and tools of fuzzy Petri Nets' basic kinds are presented in this paper. Fuzzy Petri Net, which was constructed with fuzzy defined markings and transitions, models the interaction of manufacturer, distributor (store), carrier and customer. The tree of reachable markings was built for represented Petri Net.

**Zakharchenko P.V. Transformation cycle in economy of the resort-recreation systems**

The concept of transformation is grounded in research, as a certain period of cyclic dynamics, and the scenario of transformation co-operation of the resort-recreation systems is got for the receipt of synergetic effect. Offered approach supposes possibility to examine development of economy of the resort-recreation systems, as co-operation of economic cycles and transformation processes. The concept of transformation cycle is also entered and the mechanism of his functioning is rotined. On this basis, a model, which allows carrying out description of transformation strategies as a transformation cycle, is built.

**Keywords:** resort-recreation complex, economic transformations, synergetic effect, transformation cycle, model of transformation changes.

## **Зміст**

<b>ПЕРЕДМОВА .....</b>	<b>5</b>
<b>РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ</b>	
1.1. Попередження кризових явищ в економіці засобами мультифрактального аналізу .....	8
1.2. Дослідження динаміки спотового ринку в кризові періоди засобами мережного аналізу .....	20
1.3. Когнітивні аспекти зростання знаннєвої складової у виробничий функції.....	27
1.4. Описание логики работы биологически правдоподобного искусственного нейрона.....	36
1.5. Фінансова криза як процес аномальної синхронізації.....	53
1.6. Теорія складних мереж та економічна когнітивістика.....	64
1.7. Дослідження впливу економічних шоків на стан економіки України.....	71
1.8. Моделювання індексів конкурентоспроможності за даними фінансових ринків .....	81
1.9. Інтегральна соціально-еколого-економічна стохастична модель динаміки техногенного регіонального підприємства в умовах кризи.....	90
<b>РОЗДІЛ 2. ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ</b>	
2.1. Моделювання процесів логістичних систем з використанням мереж Петрі та врахуванням невизначеності їх функціонування.....	110
2.2. Оценка и анализ эффективности функционирования экономики Украины с использованием модели «затраты-выпуск» .....	127
2.3. Трансформаційний цикл в економіці курортно- рекреаційних систем .....	143
2.4. Model of double electronic Vickrey auction.....	154

2.5. Моделювання діяльності call-центрів: теоретичні аспекти .....	165
2.6. О повышении устойчивости экономических показателей при планировании сроков ремонтов и замен оборудования, используемого в условиях неполностью прогнозируемого уровня его занятости ...	177
2.7. Оцінка інформаційного капіталу та інтелектуального капіталу стратегії підприємства.....	195
2.8. Нейро-нечіткі технології моделювання в системі стратегічного управління.....	209
2.9. Застосування економіко-математичних методів та моделей в маркетингових дослідженнях.....	234

### **РОЗДІЛ 3. ІННОВАЦІЙНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В БІЗНЕСІ І ОСВІТІ**

3.1. Наукові підходи до відбору домінант підвищення ефективності розвитку системи внутрішньої торгівлі України .....	244
3.2. Відкритість економіки як інструмент формування сталого розвитку .....	254
3.3. Проривні інновації в забезпеченні глобальної корпоративної конкурентоспроможності.....	262
3.4. Дослідження вимог до програмних засобів керування архітектурою підприємства.....	269
3.5. Модель построения информационно-логистических систем.....	278
3.6. Енергетична безпека – важлива складова економічної безпеки України.....	296
3.7. Експертне оцінювання результатів SWOT-аналізу.....	306
3.8. Особливості побудови інформаційних систем управління бізнес-процесами торговельного підприємства .....	318
3.9. Забезпечення конкурентоспроможності підприємства в умовах активного зовнішнього середовища .....	326
3.10. Економіка освіти регіону: шанс на перспективу ...	334
<b>ANNOTATION</b> .....	343

Підп. до друку 14.05.15. Формат 60x84/16.

Папір офсетний. Гарнітура Minion Pro.

Умовн. друк. арк. 17,6.

Тираж 200 прим.

Виготовлено ФОП Третяков О.М.

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців.

Серія ДК № 4862 від 11.03.2015 р.

18000, м. Черкаси, вул. Слави, 1.

Тел: 0472 45 70 02, 067 470 13 14.

E-mail: book\_brama@ukr.net