

3. Интроспективный анализ. Методы и средства экспертного оценивания: монография / В. В. Крючковский, Э. Г. Петров, Н. А. Соколова, В. Е. Ходаков; под ред. Э. Г. Петрова. — Херсон: Гринь Д. С., 2011. — 168 с.

Соловйов В. М.
д.ф.-м.н., професор
ДВНЗ «Криворізький державний
педагогічний університет»

ВИКОРИСТАННЯ МЕРЕЖНИХ МІР СКЛАДНОСТІ У ПРОГНОЗУВАННІ КРИЗОВИХ ЯВИЩ

Наявність непередбачуваних фінансових криз (глобальна фінансова 2008-2010 рр., китайська 2015-2016 рр.) є в першу чергу свідченням кризи методології моделювання, прогнозування та інтерпретації сучасних соціально-економічних реалій. Доктрина єдності наукового методу стверджує, що для вивчення подій у соціально-економічних системах застосовні ті ж методи і критерії, що і при вивченні природних явищ. Значних успіхів вдалося досягти у рамках міждисциплінарних підходів і теорії самоорганізації — синергетики, яка за класифікацією Г. Малинецького [1] знаходиться на порозі четвертої парадигми. Новий міждисциплінарний напрям дослідження складних систем, який отримав назву теорії складних мереж (complex networks) і поклав початок новій мережної парадигми синергетики. Він вивчає характеристики мереж, враховуючи не тільки їх топологію, але й статистичні властивості, розподіл ваг окремих вузлів і ребер, ефекти розповсюдження інформації, стійкість (robustness) і т. п. [2]. Мережна парадигма стала домінуючою при дослідженні складних систем оскільки дозволяє ввести не існуючі для часового ряду нові кількісні міри складності [3]. Більш того, мережна парадигма забезпечує адекватну підтримку основних концепцій Індустрії 4.0.

Раніше нами було введено різні кількісні міри складності для окремих часових рядів, зокрема: алгоритмічні, фрактальні, хаос-динамічні, рекурентні, неекстенсивні, нереверсивні та ін. Суттєвою перевагою введених мір є їх динамічність, тобто можливість відстежувати у часі зміну обраної міри та порівнювати з відповідною динамікою вихідного часового ряду. Це дозволило нам співставити критичні зміни динаміки системи, що описується часовим рядом, з характерними змінами конкретних мір складності. Виявилось, що кількісні міри складності реа-

гують на критичні зміни в динаміці складної системи, що дозволяє використовувати їх в процесі діагностики та прогнозування майбутніх змін. Ми ввели мережні міри складності, адаптували їх з метою дослідження системної динаміки, враховували між мережеву взаємодію для мультиплексних мереж, особливості яких зводяться до фіксованої кількості вузлів у кожному шарі, але зв'язані вони між собою різними зв'язками [3].

Домінуючими алгоритмами перетворення часових рядів у (мультиплексну) мережу є рекурентні та графи видимості.

Технологія рекурентних діаграм для візуалізації рекурентностей у фазовому просторі заснована на ідеї Анрі Пуанкаре щодо рекурентності фазового простору динамічних систем. Згідно з теоремою Такенса, еквівалентна фазова траєкторія, що зберігає структуру оригінальної фазової траєкторії, може бути відновлена з одного спостереження або часового ряду методом часових затримок:

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

τ — 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 \bar{x}_j є сусіднім до стану \bar{x}_i , і $R_{i,j} = 0$ у протилежному випадку. Сусідніми (або рекурентними) є стани \bar{x}_j , які потрапляють в m -вимірний окіл з радіусом ε і центром в \bar{x}_i . Зрозуміло, що параметри m , τ та ε є ключовими при проведенні рекурентного аналізу. Рекурентна діаграма легко трансформується у матрицю суміжності, за якою розраховуються спектральні і топологічні характеристики графа.

Алгоритм графа видимості реалізується наступним чином. Візьмемо часовий ряд $Y(t) = [y_1, y_2, \dots, y_n]$ довжини N . Кожну точку даних часового ряду можна розглядати як вершину в асоційованій мережі, а ребро буде з'єднувати дві вершини, якщо дві відповідні точки даних можуть «бачити» один одного з відповідної точки часового ряду. Формально два значення ряду y_a (на момент часу t_a) і y_b (на момент часу t_b) пов'язані, якщо для будь-якого іншого значення (y_c, t_c), яке розміщене між ними (тобто, $t_a < t_c < t_b$), задовольняється умова

$$y_c < y_a + (y_b - y_a) \frac{t_c - t_a}{t_b - t_a}$$

У мультиплексних мережах є дві задачі: (1) перетворити окремі часові ряди в мережі для кожного шару; (2) зв'язати внутрішньшарові мережі між собою. Перша задача розв'язу-

ється в рамках стандартних алгоритмів, описаних вище. Для міжшарових взаємодій використано модифіковані алгоритми рекурентного аналізу та графа видимості.

У якості баз даних обирались часові ряди щоденних значень індексів фондових ринків за період часу, який містив помітні зміни індексів, які прийнято ідентифікувати як кризові явища. Розрахунки проводились у такий спосіб. Обирався часовий проміжок (вікно), наприклад, два роки (приблизно 500 торговельних днів), для нього будувались відповідні графи та розраховувались їх спектральні, топологічні та мультиплексні властивості. Далі вікно зміщувалось з кроком, наприклад, одна неділя (5 торговельних днів) і процедура повторювалась до вичерпання часових рядів.

Показано, що у деяких випадках мережні та мултимережні міри можуть слугувати індикаторами-передвісниками кризових явищ.

Список використаних джерел

1. Малинецкий Г. Г. Теория самоорганизации. На пороге IV парадигмы / Г. Г. Малинецкий // Компьютерные исследования и моделирование. — 2013. — Т. 5, № 3. — С. 315-366.

2. Halvin S., Cohen R. Complex networks. Structure, robustness and function / Halvin S., Cohen R. // Cambridge University Press, 2010. — 238 p.

3. Соловйов В. М. Моделювання мультиплексних мереж / В. М. Соловйов, В. В. Соловйова // В колект. монографії: «Прогнозування соціально-економічних процесів: сучасні підходи та перспективи». Бердянськ, 2016. — С. 141-155.

Соловйов В. М.
д. ф.-м. н., професор

Водолєєва І. Є.

Лазаренко А. О.
Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницького

ПИТАННЯ СТІЙКОСТІ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ МУЛЬПЛЕКСНИХ МЕРЕЖ

Складність та відкритість сучасних економічних систем пояснюють той факт, що рівновага та стійкість на практиці зустрічаються доволі рідко. Крім того, нелінійність в економічних систе-