

kalkulacyjnego MS Excel, którego to coraz nowsze wersje proponuje firma Microsoft. Interesujące jest też zgłębienie arkanów informacji zapisanych w tekście „Pomoc” wywoływanym z poziomu pracy Excela.

1.15. Моделювання кризових явищ методами квантової еконофізики

Спроби створити адекватну модель кризових явищ у соціально-економічних системах повинні бути предметом розгляду реальною і продуктивною економічною наукою [1]. У рамках сучасних наукових парадигм стає очевидним, що дослідження складних соціально-економічних систем може бути здійснено тільки на основі мультидисциплінарних підходів адекватного опису складності [2]. При цьому квантово-механічні методи забезпечують необхідну фундаментальність і методологічну послідовність.

Еконофізика - молодий міждисциплінарний науковий напрям, що оформився і отримав свою назву в кінці 90-х років минулого століття [3, 10]. Вже через кілька років, у середині першого десятиліття XXI століття, в його рамках сформувалася квантова еконофізика, що істотно використовує не тільки математичний апарат квантової механіки, а й її принципово нові і фундаментальні світоглядні ідеї [4], в тому числі і з урахуванням релятивістських аспектів [5-7].

Якщо класична фізика виходить з гіпотези, що існують і в принципі можуть бути точно виміряні миттєві значення всіх фізичних величин, що характеризують стан системи, то вже нерелятивістська квантова механіка не відкидає існування миттєвих значень класичних фізичних величин, однак не всі з них можуть бути виміряні одночасно (співвідношення невизначеностей Гейзенберга).

Релятивістська квантова механіка відкидає в принципі існування миттєвих значень будь-яких фізичних величин, а, отже, поняття стану системи стає строго не визначеним.

Новий напрям у науці формується тільки тоді, коли для цього з'являються умови і виникає необхідність у концентрації зусиль наукового співтовариства на цьому напрямку, і квантова еконофізика в цьому сенсі не є винятком.

XX-е століття - століття тріумфу нової теоретичної фізики - теорії відносності та квантової механіки, які не тільки пояснили нові явища, що спостерігаються в макро- і мікросвіті, а й істотно змінили усталені за століття філософські концепції, засновані на так званому здоровому глузді і уявленнях класичної фізики

Хоча нові концепції і затверджувалися, перш за все, технологічно, як інструмент, у фізиці, однак, на наш погляд, на сьогодні не в повній мірі

усвідомлена можливість і плідність їх застосування для опису соціально-економічних систем.

Одна з найважливіших задач, яку слід віднести до компетенції квантової еконофізики, полягає у тому, щоб простежити, який вплив здійснили (або можуть здійснити) ці концепції на постановку задач математичного моделювання соціально-економічних процесів та інтерпретацію результатів.

Інструментальний підхід до фізики як до засобу передбачення результатів певним чином підготовлених експериментів прекрасно працює у самій фізиці, однак перенесення її понять і математичного апарату на системи іншої природи вимагає обов'язкового і глибокого аналізу її початкових концепцій.

У класичній фізиці передбачається, що основні фізичні величини можна розглядати як величини, що приймають неперервний ряд значень і існують незалежно від процедур вимірювання. При цьому:

- існують миттєві значення фізичних величин, що характеризують стан системи;
- в принципі існують процедури вимірювань, що дозволяють виміряти миттєві значення цих фізичних величин;
- вплив процедури вимірювання на значення вимірюваної фізичної величини може бути як завгодно малим.

В основі нерелятивістської квантової механіки лежать експериментально встановлені факти, які свідчать про те, що:

- а) має місце принцип невизначеності, зокрема немає точного поняття траєкторії частинки;
- б) фізичні величини можуть приймати не будь-які значення, зокрема спектр їх дозволених значень може бути і дискретним;
- в) так само як і в класичній фізиці передбачається, що фізичні величини можуть мати миттєві значення, але не всякий набір величин (наприклад, імпульс і координата частинки) може бути вимірний одночасно;
- г) має місце певний вплив процедури вимірювання на результат вимірювання, при цьому стан системи після вимірювання виявляється певною мірою невизначеним;
- д) будь-яка система є принципово відкритою, оскільки хвильова функція, за допомогою якої в квантовій механіці характеризують стан системи (її існування постулюється), є формально визначеною і неперервною на усьому просторі.

На жаль, на відміну від класичної, навіть нерелятивістська квантова механіка позбавлена наочності і не підтверджується «здоровим» глуздом, і її досить глибоке вивчення і розуміння – поки що доля фізиків-теоретиків і фахівців деяких прикладних напрямків.

В [6] ми сформулювали одну з її можливих аксіоматик. Показано, що фактично, і по суті давно, у квантовій фізиці прийняті нові парадигми

математичного моделювання. Первинним і фундаментальним поняттям стає поняття оператора фізичної величини (оператор - математичний образ процедури, дії), опис динаміки системи набуває необхідно дискретний і наближений характер, передбачення майбутнього виявляється в принципі неможливим без урахування післядії, тобто пам'яті.

Зокрема, у релятивістській квантовій механіці новим є фундаментальне твердження про те, що всяка процедура вимірювання займає принципово скінченний час Δt , тому миттєвих значень фізичних величин не існує. При цьому невизначеність вимірювання значень будь-якої динамічної фізичної величини збільшується зі зменшенням часу вимірювання і скінченна при будь-якому скінченному Δt , а саме значення може бути віднесене тільки до цього проміжку часу в цілому.

Підтвердженням цього є дані рисунку 1, де флуктуації перших похідних g (так званих прибутковостей) від значення індексу Доу Джонса (ДІА) та курсу австралійського долара по відношенню до американського зростають при зменшенні проміжку фіксації: день (d), неділя (w), місяць (m) та, відповідно, година (h), півгодини (h/2), хвилина (min).

Можливість введення економічних аналогів фізичних величин для опису соціально-економічних процесів з використанням квантового принципу невизначеності продемонстрована в наших роботах [9]. Skorиставшись відомим співвідношенням невизначеності Гейзенберга $\Delta x \Delta v \geq \hbar / 2m$, де Δx і Δv - середньоквадратичні відхилення координати x і швидкості v частинки з масою m , \hbar - постійна Планка та вважаючи часовий ряд моделлю траєкторії гіпотетичної «економічної частинки», похідна від якої буде «швидкістю», можна знайти їх середньоквадратичні відхилення та розрахувати «економічну масу».

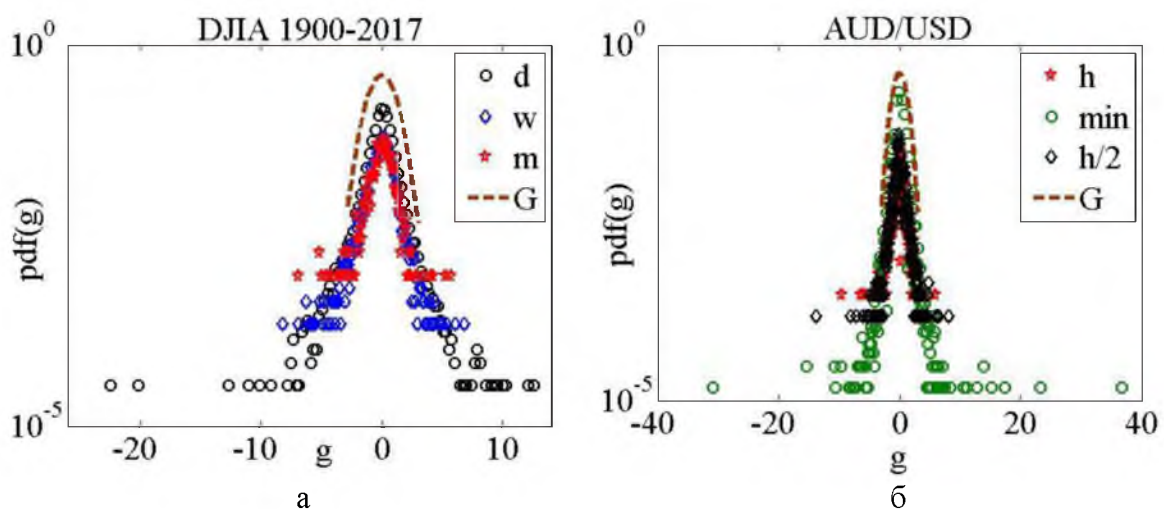


Рис. 1. Зростання флуктуацій прибутковостей індексу Доу Джонса (а) та курсу валютної пари AUD/USD

Для апробації запропонованого підходу були вибрані спеціально підготовлені групи часових рядів щоденних значень індексів відомих фондових ринків [11]: Німеччини (dax), Франції (fchi), Індії (bsesn), Китаю (hsi), США (sp) та Японії (nikkey). Знаючи час настання кризи та співставляючи часовий ряд з динамікою певного показника, можна досліджувати його залежність від тих чи інших характерних змін на фондовому ринку: докризовий, кризовий та післякризовий періоди.

Для прикладу на рис. 2 наведено динаміку нормалізованих значень фрагментів фондових індексів Німеччини та США та відповідні залежності економічної маси M . Розрахунки економічної маси проводились у рамках алгоритму ковзного вікна: величина маси розраховувалась для підряду певної довжини (вікна), наприклад, 300 точок, потім зміщувалось з певним кроком і процедура продовжувалась до вичерпання часового ряду. З рис. 2 видно, що у докризовий і власне кризовий періоди маса помітно зменшується, відновлюючись у післякризовий період. При цьому її поведінка універсальна для криз різної природи та індексів різних ринків.

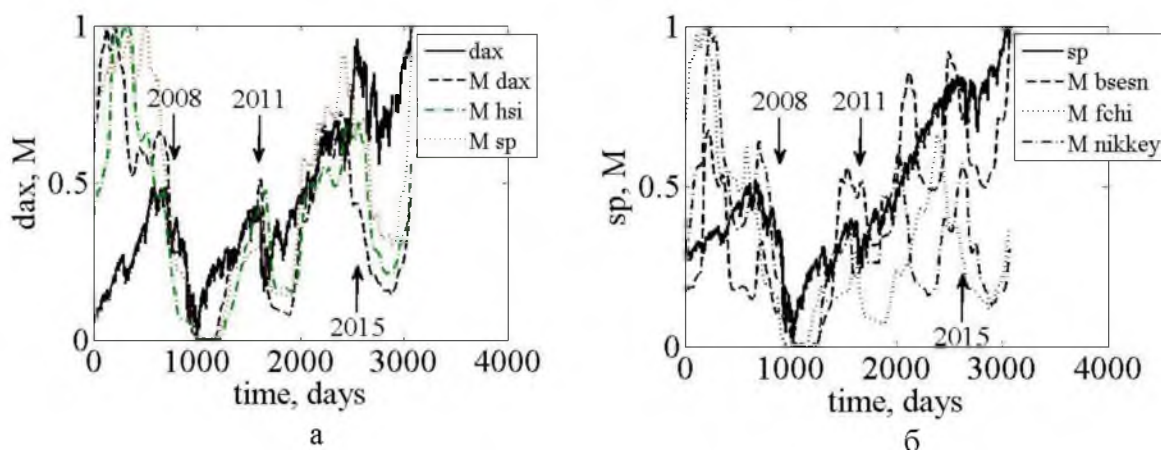


Рис. 2. Динаміка індексів фондових ринків Німеччини (а) та США (б) і відповідно економічних мас M для обраних фондових бірж. Стрілками відмічені найбільш помітні кризи

Якщо в період кризи економічна маса поводить себе характерним чином, то її можливо використовувати для ідентифікації або попередження кризи. З рис. 2 видно випереджальний характер зменшення маси ще до настання кризи. Тому вона є випереджальним квантовим індикатором кризових явищ.

Ще одним квантовим інструментом дослідження кризових явищ є теорія випадкових матриць [8]. Теорія випадкових матриць запропонована для пояснення статистики рівнів енергії складних квантових систем і активно використовується в економіці та фінансах для інтерпретації колективних властивостей останніх. Для системи із N часових послідовностей $S_i(t)$, $i=1, \dots, N$ знаходяться нормалізовані

прибутковості $G_i(t) = \ln S_i(t + \Delta t) - \ln S_i(t)$ та матриця взаємних кореляцій і випадкова матриця кореляцій, властивості якої відомі. Для обох матриць розраховуються спектри власних значень $\lambda_1 < \lambda_2 < \dots < \lambda_N$ та відповідних векторів u^k для фрагментів часових рядів (вікон), які є рухомими, дозволяючи аналізувати зміни у часі параметрів системи. Власним векторам ставиться у відповідність відношення участі і його обернене значення ОВУ (inverse participation ratio - IPR) $I^k = \sum_{l=1}^N [u_l^k]^4$, де u_l^k , $l=1, \dots, N$ – компоненти власного вектора u^k . На рисунку 3 представлені порівняльні характеристики розподілів власних значень $P(\lambda)$ для випадкової матриці (shuffled) і реальної (а) та відповідні значення IPR (б) для 119 компаній, що входять до індексного кошику індексу S&P 500 за період з 30.12.1983 по 31.08.2016рр.

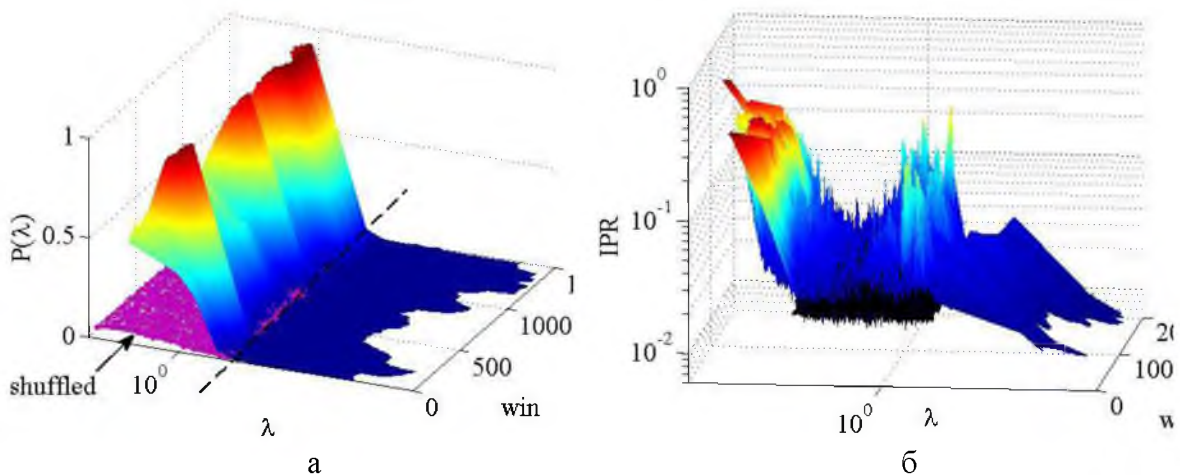


Рис. 3. Віконна динаміка розподілу власних значень $P(\lambda)$ (а) та оберненого відношення участі (б) для вихідної та перемішаної (або випадкової) матриць

Відмінність у динаміці викликана особливостями не випадкових кореляцій між часовими рядами окремих активів. Щодо спектру власних значень, то очевидно, що важливу роль грає найбільше власне значення λ_{\max} , яке враховує реакцію всього ринку. Нерівномірність впливу власних значень матриці кореляцій визначається коефіцієнтом поглинання (absorption ratio - AR), який є кумулятивною мірою ризику: $AR_n = \sum_{k=1}^n \lambda_k / \sum_{k=1}^N \lambda_k$ і вказує, яку частину загальної варіації описують n із загальної кількості N власних значень. Власні вектори помітно відрізняються для декількох найменших і найбільших власних значень. Справа в тому, що вектор з ідентичними компонентами має $I^k = 1/N$, тоді як вектор з одним компонентом $u_1^k = 1$ і нульовими іншими має $I^k = 1$. Відношення участі при цьому вказує на кількість компаній, які приймають участь у формуванні власного значення. Якщо значення ОВУ

$\propto 1$, то за аналогією з квантовим ефектом Андерсона стани вважаються локалізованими і навпаки.

З рис. 3b видно, що локалізовані стани в основному зосереджені в області найменших і найбільших λ . Поведінка з часом спектральних характеристик матриці кореляції, як і економічна маса, проявляє характерні зміни у передкризові періоди (рис. 4).

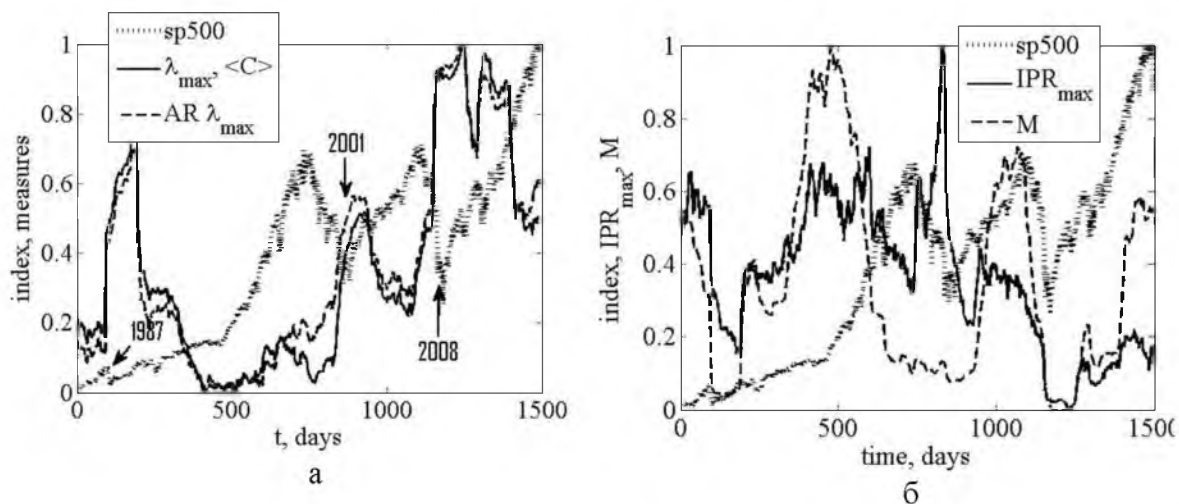


Рис. 4. (а) Динаміка максимального власного значення, середнього значення коефіцієнта кореляції $\langle C \rangle$ та коефіцієнта поглинання для матриці кореляцій; (б) обернене відношення участі для максимального власного значення IPR_{\max} і «економічна маса» індексу S&P 500

Висновки. Таким чином, ґрунтуючись на квантовомеханічних еконофізичних аналогіях, а також маючи на увазі загальні принципи системного аналізу, ми пропонуємо наступні, логічно пов'язані між собою, концепції, на яких має ґрунтуватися моделювання складних систем, до яких належать і реальні соціально-економічні системи:

1. Первинність процедури вимірювання по відношенню до її результату.

2. Необхідна скінченна тривалість будь-якої процедури вимірювання, включаючи і комп'ютерний прогноз (як специфічну процедуру непрямого вимірювання), і її принципово неусувний вплив на стан і майбутню поведінку системи.

3. Наближений і вторинний характер поняття «миттєві значення змінних стану» і, як необхідний наслідок, і поняття «стан системи».

4. Принцип невизначеності змінних стану системи і його фундаментальний зв'язок з тривалістю процедури вимірювання.

5. Дискретність часу і простору, а також будь-яких інших величин, пов'язаних з динамікою системи, при її формалізованому описі.

6. Післядія (пам'ять) як фундаментальна властивість будь-якої динамічної системи, без урахування якої опис динаміки системи стає неможливим.

7. Принцип незворотності часу, на якому заснована ментальна здатність людини робити будь-які логічні побудови.

8. Відкритість, ієрархічність і емерджентність як базові системні принципи адекватного відображення функціонування реальних складних систем.

Базуючись на окреслених положеннях можна запропонувати вказані в даній роботі квантові індикатори критичних явищ у складних соціально-економічних системах.

Список літератури:

1. Сорос Д. Мировой экономической кризис и его значение. Новая парадигма финансовых рынков / Д. Сорос; пер. с англ. К. Вагнера. – М. : Манн, Иванов и Фарбер, 2010. – 272 с.
2. Bianconi G. Interdisciplinary and physics challenges of Network Theory. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http:// arXiv:1509.00345v1](http://arXiv:1509.00345v1) [physics.soc-ph] 1 Sep 2015.
3. Mantegna R. N. An Introduction to Econophysics / R. N. Mantegna, H. E. Stanley. - Cambridge: Cambridge University Press, 2000. – 144 p.
4. Маслов В. П. Квантовая экономика / В. П. Маслов. - М.: Наука, 2006. – 72 с.
5. Соловьев В. Н. Принцип неопределенности Гейзенберга и экономические аналоги основных физических величин / В. Н. Соловьев, В. М. Сапцин // Культура народов Причерноморья. - 2011. - № 205. - С. 208-213
6. Сапцин В. М. Релятивистская квантовая эконофизика. Новые парадигмы моделирования сложных систем: Монография / В. М. Сапцин, В. Н. Соловьев. - Черкассы: Брама-Украина, 2009. – 64 с.
7. Sapsin V. Relativistic quantum econophysics – new paradigms in complex systems modelling [Електронний ресурс] / V. Sapsin, V. Soloviev // arXiv:0907.1142v1 [physics.soc-ph] 7 Jul 2009.
8. Plerou V. Random matrix approach to cross correlations in financial data / V.Plerou, P.Gopikrishnan, B.Rosenau, L.A.N.Amaral, T.Guhr, H.E.Stanley // *Phys.Rev.E.* - 2002. –V.65. – P.066126.
9. Soloviev V. Heisenberg uncertainty principle and economic analogues of basic physical quantities / V.Soloviev, V.Sapsin. // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http:// arXiv:1111.5289v1](http://arXiv:1111.5289v1) [physics.gen-ph] 10 Nov 2011.
10. 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.
11. Индексы фондовых рынков / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http:// finance.yahoo.com](http://finance.yahoo.com)
12. Соловйов В.М. Моделювання складних систем / В.М.Соловйов, О.А.Сердюк, Г.Б.Данильчук // Навчально-методичний посібник для самостійного вивчення дисципліни. – Черкаси : Видавець О. Ю. Вовчок, 2016. – 204 с.